

سلسلة المواد الهندسية وتشكيلها



هندسة لظام المفاصل

أ.د. أحمد سالم الصباغ



دار الشروق

هندسة لحام المعادن

Welding of Metals

الطبعة الثانية

١٩٩٨م

جميع حقوق الطبع محفوظة

© دار الشروق

القاهرة: ١٦ شارع مواد خشي - هاتف: ٧٧٤٨١٤ - ٧٧٤٥٧٨ - بريقيا: شروق - تلخك: 93091 SHROK UN
بيروت: ص ب: ٨٠٦٤ - هاتف: ٣١٥٨٥٩ - ٨١٧٧٦٥ - ٨١٧٢١٣ - بريقيا: داشروق - تلخك: SHOROK 20175 LB
SHOROK INTERNATIONAL: 316/318 REGENT STREET, LONDON W1, UK, TEL: 637 2743/4, TELEX: SHOROK25778G

دكتور أحمد سالم الصباغ

هندسة لحام المعادن

Welding of Metals

دار الشروق

إهداء

إلى فقيدى العزيزين المرحومين محمود وعما

تقديم

الحمد لله الذى مكنتنا من إخراج هذا العمل إلى حيز الوجود لينضم لرفاقه فى سلسلة المواد الهندسية وتشكيلها والتي بدأت بالغالورجيا الفيزيائية ثم العدخل إلى هندسة الانتاج ثم عمليات التشغيل . ونأمل أن تتمكن قريبا بإذن الله من إخراج العمليين المكملين لهذه السلسلة وهما عمليات صب المعادن وعمليات التشكيل .

هذا وإن كان هذا العمل قد استغرق إنجازَه فترة تربو على عشرين سنة فإن هذا يرجع فى المقام الأول إلى ضخامة العمل والحرص على أن يوفى بالمطلبات التى يحتاجها القارئ فى بلادنا فى هذا التخصص . ولا شك أن هناك العديد من المراجع فى هذا المجال قليلها باللغة العربية وجلها بلغات أجنبية أخرى إلا أن تصميم هذا العمل قد تَوَخَّى فيه أن يكون شاملا للتخصص بصفة عامة مع التركيز على النواحي التى تهتم الدارسين والصناعة فى بلادنا بصفة خاصة وهو أمر لم يتحقق حتى الآن فى المراجع الموجودة .

وقد رُؤى أن تُستخدَم الأرقام العربية الأصلية بدلا من تلك الهندية المصدر التى تستخدم حاليا فى بعض البلدان العربية ومنها مصر وذلك بهدف الاستفادة من التراث بجانب أن الأرقام العربية تعطى ميزة تجنب اللبس فى الشكل بين بعضها البعض .

وقد حاولنا صياغة المحتوى بلغة عربية سهلة واعتمدنا على الأشكال التوضيحية والتى أُخِذَ الكثير منها من المراجع الأجنبية إقتصادا فى تكاليف الرسم بصفة خاصة والكتاب بصفة عامة .

وإني إذ أقدم هذا الكتاب إلى القارئ العربى أرجو أن يحظى بقبوله وأرحب بالنقد لأنه يعتبر الطريق الصحيح لإخراج عمل سليم .
والله ولى التوفيق ،

الفهرس

| الصفحة | مقدمة |
|--------|---|
| 13 | وصل المعادن - الوصل بالطرق الميكانيكية |
| 14 | الباب الأول - الطرق التالورجية |
| 18 | خريطة طرق اللحام |
| 19 | الباب الثانى - اللحام بالصهر - لحام الصهر بمصدر كيميائى للحرارة |
| 20 | اللحام بغاز الأستلين |
| 23 | ظروف تعرض الأستلين للانفجار |
| 26 | غاز الأكسجين |
| 28 | أسطوانات تعبئة الغازات |
| 31 | بورى اللحام |
| 33 | صمام الأمن - منظم الغاز |
| 34 | خراطيم توصيل الغاز - اختيار نسب الأستلين والأكسجين |
| 37 | استخدام البورى فى عمليات اللحام |
| 39 | أسلوب اللحام بالأكسى أستلين |
| 40 | اللحام فى الأوضاع المختلفة - اللحام الأفقى نحو اليمين |
| 41 | اللحام نحو اليسار |
| 42 | اللحام الأفقى على مستوى رأسى |

| | |
|----|---------------------------------------|
| 43 | اللحام الرأسى |
| 45 | لحام السقف |
| 46 | طريقة لنذا للحام - لحام حديد الزهر |
| | اللحام بالأكسى أستلين بالسبائك الصلدة |
| 48 | والبرونز - حديد الزهر |
| 49 | الصلب - النحاس - النحاس الأصفر |
| 50 | برونز الألومنيوم |
| 51 | الألومنيوم - تكسية الأسطح بطبقات صلدة |
| | التكسية بسبيكة الاستليت - تكسية الصلب |
| 54 | بالاستليت |
| | تكسية حديد الزهر بالاستليت - معالجة |
| 55 | كسوة الاستليت حراريا |
| 56 | التكسية بالرش |
| 57 | القطع بلهب الأكسى أستلين |
| 59 | بورى القطع |
| 60 | تكنولوجيا القطع |
| 62 | عمليات اللحام والقطع تحت الماء |
| 65 | المعدات |
| 66 | عمليات القطع تحت الماء |
| | القطع بالقوس الكهربائى والأكسجين - |
| 67 | طريقة القطع باللهب |

| | |
|-----|--|
| 68 | اختيار الوقود |
| 69 | القطع باستخدام القوس والأكسجين - القطع اليدوى |
| 69 | بالقوس |
| 70 | استخدام غازات أخرى فى اللحام |
| 71 | لحام الترميت |
| 72 | اسلوب لحام الترميت |
| | الباب الثالث - استخدام الطاقة الكهربائية فى اللحام - طبيعة |
| 74 | تكوين القوس الكهربائى |
| 75 | الحرارة |
| 78 | التأين |
| 80 | الانبعاث |
| 84 | فيزياء الانبعاث الإلكتروني |
| 86 | توزيع الحرارة على طول القوس الكهربائى |
| 87 | خلاصة نظرية القوس |
| | العلاقة بين الجهد والتيار الكهربائى ودرجة |
| 88 | حرارة القوس |
| | تغير الجهد الكهربائى على مدى طول القوس - |
| 92 | دائرة اللحام بالقوس الكهربائى |
| 93 | استخدام التيار المستمر فى عمليات اللحام |
| 96 | القدرة فى القوس |
| 99 | مصادر التيار المتردد |
| | الدوائر المعادلة ومنحنيات خواص الجهد وشدة |
| 100 | التيار |

| | |
|-----|--|
| 103 | اللحام باستخدام القوس الكهربائي والغازات الخاملة والكثود التنجستن |
| 106 | مكنات اللحام بغاز الأرجون والكثود التنجستن |
| 109 | التيار المستمر قطبية عكسية |
| 110 | التيار المستمر قطبية مباشرة - التيار المتردد |
| 112 | مقبض الإلكثود |
| 116 | شكل طرف الإلكثود - الغاز الخامل - أسلاك الحشو |
| 117 | تجهيز الوصلة |
| 121 | اللحام بالهيدروجين الذرى |
| 126 | اللحام بالأسياخ المستهلكة |
| 127 | آلية انتقال المعدن من الإلكثود إلى الوصلة - الجاذبية الأرضية |
| 128 | تعدد الغازات المتولدة - القوى الكهرومغناطيسية |
| 129 | قوى الدفع الكهربائية - الشد السطحي |
| 130 | اللحام باستخدام الإلكثودات العارية |
| 133 | الأسباب الكهربائية لاستخدام كسوة الإلكثودات |
| 134 | نبذة تاريخية عن بدء وتطور كسوة الإلكثودات للحام بالتيار المستمر |
| 136 | الغازات المتولدة أثناء اللحام |
| 138 | تأثير الخبث الناتج من التفاعلات أثناء اللحام |
| 141 | استخدام التيار المتردد فى توليد قوس اللحام |

| | |
|-----|--|
| 142 | الكثروادات التيار المتردد |
| 143 | فوائد مساعد الصهر وتكون الخبث |
| 145 | توصيف إلكثروادات اللحام - المواصفات الأمريكية |
| 148 | المواصفات الألمانية |
| 156 | المواصفات البريطانية |
| 161 | اختيار الإلكثروود المناسب |
| 163 | الخواص الميكانيكية للجزء المطلوب لحامه - قطر الإلكثروود |
| 166 | حفظ وتخزين الإلكثروادات - أساليب اللحام بالقوس الكهربائي والإلكثروادات المعكوسة أو المحشوة |
| 168 | سلك الإلكثروادات - إشعال القوس |
| 169 | إجراء مسارات اللحام |
| 171 | العيوب الشائعة |
| 172 | إجراء لحام خطي |
| 173 | الحركة الحياكية للإلكثروود |
| 174 | كسوة الأسطح بطبقات من اللحام - الوصلات الأفقية المتراكبة |
| 175 | لحام الزوايا |
| 176 | الوصلات التناكبية - لحام المسارات الدائرية |
| 180 | اللحام الأفقي على مستوى رأسى |
| 183 | اللحام الرأسى على مستوى رأسى |

| | |
|-----|--|
| 186 | لحام السقف |
| 187 | القيم الإرشادية لوصلات اللحام بالقوس الكهربائي |
| 189 | لحام حديد الزهر بالقوس الكهربائي |
| 191 | لحام حديد الزهر على الساخن |
| 192 | اللحام بالتسخين الموضعي |
| 193 | لحام حديد الزهر دون تسخين أولي |
| 196 | اللحام بالقوس الكهربائي وغاز ثاني أكسيد الكربون |
| 197 | دور الغازات الخاملة والمختزلة والمؤكسدة في اللحام |
| 202 | خواص القوس الكهربائي في غاز واق |
| 205 | متالورجية عملية اللحام بالصهر الهادي والصهر الساخن |
| 207 | خواص ثاني أكسيد الكربون المستخدم |
| 208 | وحدة اللحام بثاني أكسيد الكربون |
| 210 | سلك الحشو - تكنولوجيا اللحام |
| 213 | العيوب المحتملة في اللحام |
| 214 | احتياطات الأمن |
| 215 | غاز أول أكسيد الكربون - غاز ثاني أكسيد الكربون |
| 230 | اللحام بقوس الكربون - قوس الكربون بتيار مستمر |
| 231 | تجهيز أطراف الوصلات |
| 233 | اللحام بالتيار المتردد |
| 234 | القطع بالقوس الكهربائي |

| | |
|-----|--|
| 235 | اللحام بالقوس الكهربائي المغمور |
| 247 | اللحام بالخبث الكهربائي |
| | اختيار نوعية التيار المناسب وعلاقته بالتفاعلات |
| 250 | العتالورية مع الخبث |
| 252 | تركيب مساعد الصهر |
| 253 | اللحام الكهروغازي |
| 254 | اللحام بالشعاع الإلكتروني |
| 258 | اللحام بقوس البلازما |
| 260 | معدات اللحام بالبلازما |
| 261 | الغازات - أسلوب اللحام |
| 262 | القطع بقوس البلازما |
| 263 | بورى القطع بقوس البلازما |
| | القطع بقوس البلازما ونفث الماء - التآكلية |
| 265 | السطحية بالبلازما |
| 267 | اللحام بشعاع الليزر |
| 268 | توليد أشعة الليزر |
| 275 | الباب الرابع - اللحام بالضغط على البارد |
| 276 | أسطح المعادن وقابليتها للحام |
| 284 | إنتاج وصلات اللحام بالضغط على البارد |
| | تطبيقات عمليات اللحام بالضغط على |
| 289 | البارد |

| | |
|-----|--|
| | الباب الخامس - استخدام الطاقة الحرارية والطاقة الميكانيكية |
| 292 | اللحام بالضغط على الساخن - تأثير درجة الحرارة على الأكاسيد السطحية |
| 295 | تأثير درجة الحرارة على جهد الخضوع والإجهادات المرنة |
| 300 | استخدام الطاقة الكيميائية والتسخين - اللحام الحدادى |
| 302 | اللحام بالتسخين بالمقاومة الكهربائية والضغط |
| 307 | أثر ارتفاع درجة الحرارة على مقاومة التماس |
| 308 | لحام المقاومة الكهربائية التناكبي |
| 309 | لحام التناكب الوميضى |
| 310 | اللحام بالصدم الكهربائى الميكانيكى |
| 312 | لحام الدرة التناكبي |
| 314 | لحام البقعة ولحام التتوهات ولحام الدرز التراكبي |
| 325 | دورة اللحام |
| 326 | التيار الكهربائى المستخدم فى عمليات اللحام |
| 327 | التيار المتردد |
| 328 | التيار المستمر - وحدات اللحام بخزن الطاقة الكهربائية |
| 329 | التخزين الكهرومغناطيسى |

- 330 التخزين الإلكتروستاتي - التخزين الكهروكيميائي
- زمن التسخين
- 333 قوة الضغط بالكثرويدات اللحام
- 335 عناصر التحكم فى لحام البقعة
- 337 أسس اختيار مكثات لحام البقعة بالمقاومة
الكهربائية
- 338 الاعتبارات المتالوجية فى لحام المقاومة الكهربائية
- 341 اللحام بالصد م الكهرومغنطيسى
- 342 اللحام بالاحتكاك
- 348 اللحام بالمقاومة الكهربائية بالتردد المرتفع
- 360 اللحام بالانتشار
- 352 التجهيز للحام - الاستخدام
- 353 الباب السادس - اللحام بالسبائك الصهيرة الصلدة (المونة)
والسبائك الصهيرة اللدنة (القصد ير)
- 556 سبائك اللحام الصهيرة ومساعدات الصهر
المستخدمة معها - السبائك الصلدة
- 358 مساعدات الصهر - السبائك اللدنة
- 361 مساعدات الصهر غير العضوية
- 362 مساعدات الصهر العضوية - مساعدات صهر خاصة
تصميم وصلات اللحام بالسبائك الصهيرة اللدنة

| | |
|-----|--|
| 363 | تجهيز الوصلات للحام |
| 364 | طرق اللحام |
| 370 | مقاومة وصلات اللحام للإجهادات الميكانيكية |
| 373 | الباب السابع - التغطية السطحية باللحام |
| 377 | التغطية لمقاومة السحج - مقاومة الصدم |
| 378 | زيادة الأبعاد - البطانة بسبيكة خاصة لأسباب م탈ورجية |
| 379 | المتغيرات الأساسية للتغطية |
| 385 | مظهر السطح الخارجى |
| 386 | طرق التغطية - أشكال مواد التغطية - التغطية باستخدام القوس الكهربائى |
| 390 | التغطية السطحية باللكترودات المحشوة - التغطية بالقوس المغمور |
| 392 | التغطية بقوس البلازما |
| 393 | آلية التغطية بقوس البلازما |
| 396 | التغطية باستخدام اللحام بلهب الأكسى أستلين |
| 398 | التغطية بلحام نصف الأتوماتى بلهب الأكسى أستلين مواد التغطية |
| 401 | الباب الثامن - الاختبارات - اختبارات قابلية اللحام |
| 403 | اختبارات التشريح فى الألواح غير المجهدة |

- 404 اختبارات فوك وولف - اختبار كروب
اختبار براون بوفرى - اختبارات التشريح فى الألواح
405 المجهدة - اختبارات بولنرات
406 اختبار أونيل - اختبار اللحام الحلقى
407 اختبار الخواص الميكانيكية (الشد والعتانة)
الاعتبارات المختلفة فى اختيار طرق اللحام
408 المناسبة للمشغولات المختلفة
عيوب وصلات اللحام
413 وسائل تجنب التشويه أو التقلص فى وصلات اللحام
416 الإجهادات المتبقية فى الوصلة بعد اللحام
418 قياس الإجهادات الداخلية المتخلفة عن اللحام
419 وسائل تخفيف الإجهادات الداخلية المتخلفة
420 عن اللحام
عيوب درزات لحام الصهر
422 اختبار وصلات اللحام والتفتيش عليها
439 الاختبارات المتلفة - الخواص الميكانيكية
الاختبارات الميكانيكية التكنولوجية
445 اختبار التآكل - الاختبارات غير المتلفة - الأشعة السينية
447 الاختبارات بالمسحوق المغنطيسى
451 الاختبارات بالموجات فوق السمعية
453 اختبارات الشروخ السطحية بالألوان النافذة
455 تقييم وصلات اللحام - البنية المجهرية
457
464 المراجع
471 الوحدات الهندسية المختلفة وتحويلا لها

Joining of Metals وصل المعادن

إن أهم أهداف التشكيل بوصل المعادن هو التوصل إلى منتجات كبيرة أو مركبة أو معقدة الشكل عن طريق وصل أجزاء بسيطة أو صغيرة في شكلها .

فمثلا الجسور (الكباري الحديدية) تصنع من قطع بسيطة في شكلها ثم تجمع وتوصل وكذلك خطوط أنابيب نقل البترول والمياه والخطوط الحديدية والمنشآت الكبيرة والأسقف الحديدية بجانب الأجزاء المعقدة في المكنات نجد في كل هذه أن الأصل هو أشكال بسيطة أو صغيرة تجمع وتوصل للحصول على الشكل النهائي المركب .

ويمكن أن يتم الوصل بين الأجزاء إما ميكانيكيا بصورة مؤقتة أو شبه مؤقتة أو ميتالورجيا بلحام دائم . والمقصود بالوصل الميكانيكي الربط المؤقت بالمسامير والصواميل ، في هذه الحالة يمكن فك الوصلة وإعادة ربطها عند الحاجة إلى ذلك ، والربط شبه المؤقت بمسامير البرشام الذي فيه يمكن فك الوصلة بكسر البرشام إما الوصل الدائم بين الأجزاء فيتم بالاسلوب الميتالورجى بدمج أطراف الوصل بعضها ببعض وفى هذه الحالة يكون الوصل دائما لا يمكن فكه إلا بتدمير الوصلة وهذه الأساليب الميتالورجية هي المعروفة باللحام بكافة أنواعه .

ولن يفسح المجال فى هذا العمل لطرق الوصل الميكانيكى ———— أى بالمسامير والصواميل والبرشام بل سيركز الاهتمام أساسا بطرق الوصل الميكانيكى ولايضاح معالمه وليمكن مقارنته بالوصل الميتالورجى .

الباب الأول

الوصل بالطرق الميكانيكية Mechanical Joining

إن أهم هذه الطرق هي طرق الربط بالمسامير والبرشمة وتستخدم فى المنشآت الكبيرة كالجملونات والجسور الحديدية (الكبارى) والخطوط الحديدية والمنتجات المتوسطة أو الصغيرة كالمراجل البخارية وأجزاء المكنات والأجهزة والمعدات وتتصف هذه الطرق بكونها لا تحتاج إلى تحضير ذى بال للوصلة كتنظيف للأطراف فهي تحتاج فقط إلى إعداد الثقوب التى تثبت بها المسامير سواء للربط أو البرشمة . وتمتاز البرشمة بأنها تحقق جمعا متينا - ملتصقا للطرفين يجعل الوصلة أكثر

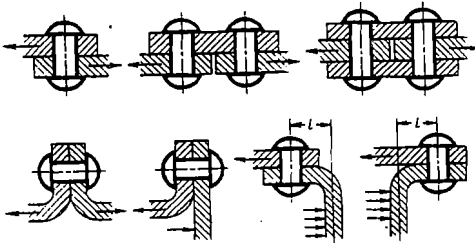
إحكاما يساعد على منع التسرب .

وتصنع بعض مسامير البرشام من الصلب الطرى وتتم البرشة يدويا بالمطرقة اليدوية أو آليا . ويعادل قطر مسمار البرشام نحو 5 . 1 مثل ثخانة اللوح المرشمة أما طول المسمار فيبلغ ضعف قطره . ويراعى ثقب الأجزاء المراد برشتها معها حتى يضمن عدم ترحيل الثقوب وأن تكون الثقوب أكبر قليلا من قطر مسمار البرشام (يترك خلوص مناسب) خاصة فى حالة البرشة على الساخن .

وضع المسامير :

تكون المسامير فى ترتيبها إما مفردة أو مزدوجة أو ثلاثية وقد تزيد عن ذلك حسب ظروف الوصلة المطلوبة وترتب ترتيبا معرجا أو مسلسلا شكل 1 - 15 وتتم البرشة الآلية باستخدام مطارق هوائية (بالهواء المضغوط)

أو باستخدام مكابس هيدرولية تقوم بكبس رأس المسمار دفعة واحدة فيتكون فى النهاية الشكل المطلوب للرأس .

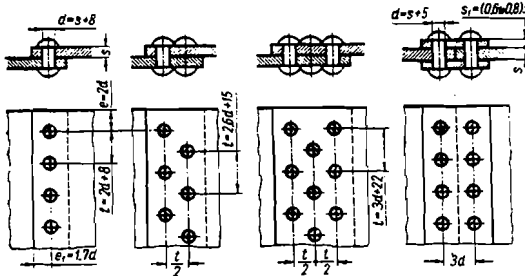


ومن عيوب وصلات البرشام أنها تتسبب فى ضعف الأجزاء الموصولة بعد ثقبها علاوة على تركيز الإجهادات عند مواقع المسامير حيث يبدأ الانهيار أو الكسر فى الوصلة فى غالب الأحيان

ثانيا : الطرق الميثالورجية

Metallurgical Joining

وتشمل كل أنواع اللحام العام Welding واللحام بالسبائك الصهيرة الصلدة (المونة) Brazing واللحام بالسبائك الصهيرة لللدنة (السمكرة أو القصد يـر)



Soldering ويطلق على كل هذه الأنواع
 أم التشكيل بالجمع أو بالوصل
 (Fabrication)
 لا تشمل الوصلات الميكانيكية رغم وجود
 به بينهما .

ولإدراك المبادئ التي تقوم عليها عمليات اللحام بصفة عامة ودون استثناء
 دأبنا بتأملنا جسم معدني جامد (متماسك غير منصهر) نجد أن أساس
 سكه ومقاومة جزيئاته للانفصال هو الجذب المتبادل بين الذرات المكونة
 مادة (المعدن) ولذلك فإنه لو أمكننا تهيئة ظروف للأجزاء أو المعادن
 مفصلة لتماثل الظروف التي توجد عندها الذرات داخل المادة المتماسكة
 ارتباط هذه الأجزاء يصبح أمرا حتميا شأنه في ذلك شأن ارتباط أجزاء
 ذاتها وفي داخلها .

وعلى هذا الأساس تختلف طرق الوصل باللحام عن الطرق الميكانيكية في
 أن الأولى يتم الوصل فيها بطريقة أكثر التصاقا (على المقياس الذري) أي
 اقتراب طرفي الوصلة من بعضها البعض حتى تصل المسافة بينهما إلى قرب
 بعد الذرية فتقع الذرات في مدى نفوذ بعضها البعض أو حتى في
 الأحيان يحدث تبادل للمواقع للذرات بالانتشار عبر طرفي الوصلة
 ما لا يتم ذلك في الوصلات الميكانيكية التي لا تقوى أطرافها على
 اقتراب إلى هذا الحد ففي كل الأحوال توجد طبقات من مواد غريبة
 هما كالأكاسيد والمواد الملوثة وخلافها والتي تحتل سمكا كبيرا
 بين الذرات عند أسطح طرفي الوصلة عن بعضها البعض بمسافات
 نسبية .

وبمعنى آخر فإن وصلات اللحام تعتمد على وصل الأجزاء وصلا ذريا باقتراب
 سطح الطرفين حتى يتم الارتباط الذري . ولكي يتم هذا الاقتراب والوصل
 دأب وأن يتحقق ما يلي :

- 1 - استخدام طاقة ميكانيكية أو حرارية أو خليط منها في وقت واحد
 ، لتحقيق هذا الاقتراب أو الارتباط .
 - 2 - أن تكون أسطح الوصلات المطلوب ربطها نظيفة من الناحية المتأرجحية
 أي أن ذرات السطح تكون ممثلة تماما لذرات فلز أو أشابة (سبيكة)
 الوصلة (بمعنى أن تكون الأسطح خالية من الأكاسيد أو المواد
 الملوثة أو أي مواد غريبة) .
- وبمراعاة الشرط الأول يمكن تقسيم جميع أنواع اللحام حسب التخطيط

الموضح فى شكل (1 - 18) وهو تقسيم أساسه نوع أو مصدر الطاقة المستخدمة ولتحقيق الشرط الثانى يجب أن يتم تنظيف أطراف الوصلة .

ويتم هذا التنظيف إما ميكانيكياً أو كليهما وقد يقتصر التنظيف على مرحلة قبل اللحام وقد يمتد أثناء اللحام أو حتى عقب الانتهاء من عملية اللحام . والتنظيف الميكانيكى يُقصد به إزالة قشرة الطبقة السطحية والتي تحتوى عادة على طبقة الأكاسيد أو المركبات والمواد الغريبة وذلك باستخدام فرشاة سلك أو بالمبرد أو التجليخ أو الصنفرة أو حتى بإزالة طبقة سطحية كبيرة بالقطع على آلات التشغيل كالقشط أو الخرط أو التفريز الخ وفى بعض الأحوال يمكن إزالة الأكاسيد باستخدام الموجات الصوتية فوق حد السمع Ultra Sonic لتحطيم القشرة السطحية (كما يتم فى حالات لحام الألومنيوم بلحام المونة) أو بواسطة الالكترونات كما فى حالة اللحام بالقوس الكهربائى .

أما التنظيف الكيميائى فيتم بمعالجة الوصلات عند مواقع اللحام بالأحماض أو القلويات المخففة أو باستخدام مركبات كيميائية معينة تنصهر فى درجة حرارة أقل من درجة حرارة اللحام وتتحد مع الأكاسيد الموجودة باختزالها مكونة مركبات يوتكتيكية أو أكاسيد معها تنصهر عند أدون أو فوق درجة حرارة إنصهار الوصلة بقليل وبذلك تبقى الوصلة نظيفة من الأكاسيد . وتبقى هذه المركبات الجديدة طافية على سطح البركة المنصهرة مكونة طبقة تغطى الوصلة أثناء اللحام وتمنع تجدد أكسدها وبصفة خاصة تحت ظروف درجات حرارة اللحام ويستخدم فى هذا السبيل مواد أو مركبات يُطَلَّق عليها مساعدات صهر Fluxes وهى فى الحقيقة مساعدات لحام لأنها لا تساعد دائماً فى صهر أطراف وصلات اللحام بل تساعد فى غالب الأحيان فى خفض درجة الحرارة انصهار الأكاسيد المتكونة على السطح أو التفاعل معها أدون صهرها وبذلك تهيأ الوصلة للحام .

وهذه المساعدات توجد فى صور مختلفة فمنها الجادة Solids ومنها السائلة Liquids ومنها الغازية Gases مثل الغازات الخاملة وكثيراً ما تستخدم فى صورة خلاط مثل المعاجين . وتستخدم الغازات المعادلة أو الخاملة أو المختزلة للمحافظة على أسطح الوصلة من التأكسد أثناء اللحام أو فى بعض الأحيان لاختزال هذه الأكاسيد ويستخدم فى هذا الشأن ثانى أكسيد الكربون - النيتروجين - الأرجون - الهليوم أو الأيدروجين أو أول أكسيد الكربون .

أو قد تتم عمليات اللحام بأكملها في بعض الأحيان في جو مفرغ Vacuum (كالحام المونة أو القصدير واللحام بالشعاع الالكتروني لنفس السبب ويساعد جو التفريغ أساسا على تحليل الأكاسيد الى مركباتها عند درجات حرارة اللحام .

وعودا الى الشرط الأول لتحقيق اللحام وهو استخدام طاقة بمقدار معين لتحقيق الاقتراب أو الارتباط الذري نجد أن هذه الطاقة تأخذ صورا مختلفة فهي إما أن تكون طاقة ميكانيكية بحتة أى بالضغط الميكانيكي دون الحاجة إلى تسخين (كاللحام على البارد) Cold Welding

وإما أن تكون طاقة حرارية بحتة بالتسخين حتى درجة حرارة انصهار الوصلة أى تحويل الأطراف من الحالة الجامدة إلى الحالة المنصهرة وبذلك تتمكن ذرات الأطراف من الاقتراب والاختلاط بعضها مع بعض وعند التجمد بالتبريد نجد أن ذرات طرفي الوصلة ترتبط ببعضها البعض كما ترتبط باقى ذرات أجزاء الوصلة عند التجمد (مثل عملية الصب (السباكة)) وهو ما يسمّى بلحام الصهر Fusion Welding وقد تكون الطاقة المستخدمة في اللحام ميكانيكية حرارية أى بالتسخين والضغط

شكل (1 - 18) .

الباب الثانى

لحام بالصهر

Fusion Welding لحام الصهر

تستخدم فى هذا اللحام طاقة حرارية كافية لتسخين طرفى الجزء المطلوب لحامه وصهرهما . ويمكن أن تكون الطاقة الحرارية المطلوبة من عدة مصادر فهى إما أن تكون مصدر كيميائية أو من مصدر كهربائية أو ضوئية أو صوتية .

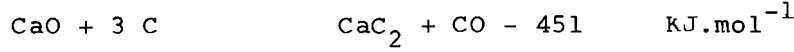
لحام الصهر بمصدر كيميائى للحرارة :

يتم فى هذه الطريقة من لحام وتوليد الحرارة اللازمة لصهر طرفى الوصلة من تفاعل كيميائى طارد للحرارة ويتم ذلك بين وقود (هيدروكربونى) جامد أو سائل أو غازى وبين أكسوجين الهواء الجوى أو أكسوجين منفرد . ويختار فى هذا المجال أنواع الوقود التى تعطى مقداراً كبيراً من الحرارة فى زمن قصير (معدل تولد مرتفع للحرارة) ليتيسر تركيز الحرارة عند طرفى وصلة قبل تسربها بسبب قابلية التوصيل الحرارى المرتفعة للمعادن .

ومن أهم أنواع الوقود المستخدمة غاز الأستيلين (الذى يمثل أهم وقود لأنه يولد أعلى درجة حرارة مقارنة بأنواع الوقود الغازية الأخرى) أنظر الجدول (1 - 21) والهيدروجين وأول أكسيد الكربون والميثان والأثيلين والايثان والبتان وغاز المديقة وغاز فحم الكوك والغازات الطبيعية وبخار البنزين والكبروسين ولما كان غاز الأستيلين يمثل أهم أنواع الوقود فى عمليات اللحام فسيولى عناية خاصة فى هذه الدراسة .

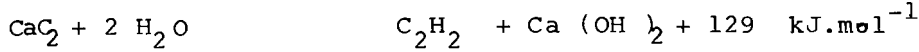
اللحام بغاز الأسـتـلـين (C₂H₂) Welding With Acetylene Gas

يولد غاز الأسـتـلـين من تفاعل كربيد الكالسيوم مع الماء ويحضر كربيد الكالسيوم (الذى يتـركـب من الكالسيوم والكربون) بصـهـر كـل من فـحم الكوك مع الجير (أكسيد الكالسيوم) كالتفاعل التالى :



$$56,08 + 36,03 = 64,1 + 28,01$$

وعلى هذا الأساس نحتاج إلى ($\frac{56,08}{64,1} = 0,875 \text{ Kg}$) كيلو جرام من الجير وإلى ($\frac{36,03}{64,1} = 0,562 \text{ Kg}$) كـجـم من الكربون لتوليد كيلو جرام واحد من كربيد الكالسيوم ولا يكون كربيد الكالسيوم التجارى نقيا تماما بل يختلط به من 10 إلى 25 % حجر جيرى ونحو 6 % شوائب أخرى كالـكـربون وسليكا . وكربيد الكالسيوم حجر جامد متبلور معتم لونه رمادى قاتم (أوبنى) فى المقطع وهو شره للتفاعل مع الماء لتكوين جير مطفاً حتى أن مجرد تعرض كربيد الكالسيوم للهواء الجوى المعتاد يجعله يمتص الرطوبة منه ليتفـاعـل ويولد الأسـتـلـين والجير المطفاً وهذا التفاعل طارد للحرارة كما يلى :



$$64,1 + 36,032 = 26,036 + 74,096$$

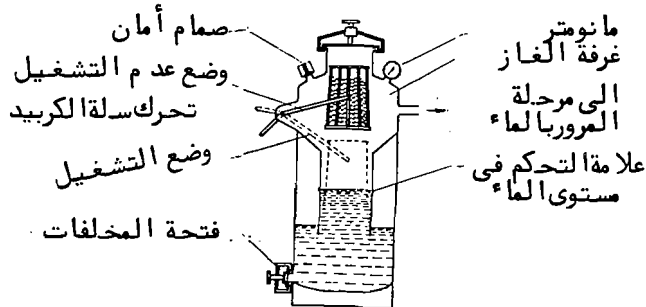
وعلى هذا الأساس نحتاج إلى ($\frac{36,032}{64,1} = 0,562 \text{ kg}$) كـجـم من الماء للتفاعل مع كـجـم من كربيد الكالسيوم النقى لا نتاج مقدار ($\frac{26,036}{64,1} = 0,406 \text{ Kg}$) كـجـم من الأسـتـلـين C₂ H₂

جدول (21-1)
خواص الغازات المستخدمة لتوليد الحرارة

| اسم الغاز | الوزن النوعي | نسبة الحجم إلى الوزن m^3 / kg ($15,6^{\circ}C$) | نسبة الأكسجين إلى الغاز اللازمة للاحتراق التام | درجة حرارة اللهب المتعادل $^{\circ}C$ | الحرارة الكلية للاحتراق MJ / m^3 |
|-------------------|--------------|---|--|--|---------------------------------------|
| أستلين C_2H_2 | 0,906 | 0,91 | 2,5 | 3087 | 55 |
| بروبان C_3H_8 | 1,52 | 0,54 | 5,0 | 2526 | 104 |
| اثلين C_2H_4 | 1,48 | 0,55 | 4,0 | 2927 | 91 |
| بروبيلين C_3H_4 | 1,48 | 0,55 | 4,5 | 2900 | 89 |
| ميثان CH_4 | 0,62 | 1,44 | 2,0 | 2538 | 37 |
| ايدروجين H_2 | 0,07 | 11,77 | 0,5 | 2650 | 12 |

أو مقدار 372,5 لترا من الأستلين () عند ضغط ودرجة حرارة الجو) ويتم تحضير غاز الأستلين في محضرات خاصة تتيج تلامس كربيد الكالسيوم والماء والتحكم في هذا التفاعل بما يتفق ومقدار استهلاك الغاز وشكل (2 - 21) يوضح تخطيطا مبسطا لبعض هذه المحضرات وأبسطها عبارة عن وعاء اسطوانى مفتوح من اعلاه يحتوى على ماء

ووعاء آخر اسطوانى مفتوح من أسفله مغلق من أعلاه وعند تولد غاز الأستلين وتجمع قدر منه يزداد الضغط تحت الناقوس الحامل لكربيد الكالسيوم فيرتفع الناقوس فينفصل الكربيد عن الماء ويتوقف التفاعل الى أن يستهلك

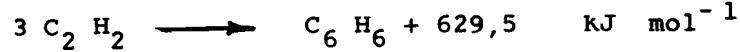


شكل 1 - 21 مولد غاز أستلين ضغط عال ذى سلة

ومجموع الحرارة = حرارة التفكك + حرارة احتراق ذرتي كربون +
 حرارة احتراق ذرتي أيدروجين $225 + 2 \times 394,8 + 285,7 = 1300,3 \text{ kJmol}^{-1}$

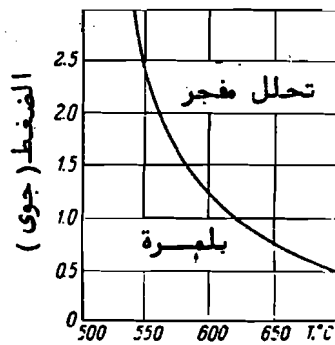
ظروف تعرض الأستلين للانفجار

قد يتعرض الأستلين للانفجار تحت ظروف معينة للاستخدام من درجة الحرارة والضغط وتواجد الشوائب به (الرطوبة والمواد المحفزة catalysts) بجانب مصادر الاشعال ونوع الأوعية المحتوية للغاز وقابليتها للتوصيل الحراري وهذه العوامل مجتمعة تتداخل في تأثيرها على قابلية الغاز للانفجار الا أنه يمكن تفهم آلية انفجار الغاز على ضوء حدوث بلمرة (تجمع) Polymerisation الأستلين قبل الانفجار والتي تحدث في مدى من درجات الحرارة بين 300°C , 200 حيث تتجمع جزيئات الغاز إلى مركبات أعلى في تركيبها مثل البنزين C_6H_6 والأستيرين C_8H_8 والنفثالين C_{10}H_8 والتولين C_7H_8 وهذا التجمع يكون دائما طاردا للحرارة فمثلا



ولما كانت البلمرة تزداد بارتفاع درجة الحرارة المتولدة تؤدي إلى زيادة معدل البلمرة إلى قدر قد يؤدي إلى الانفجار . لذلك يجب التخلص من هذه الحرارة الأولية المتولدة من البلمرة تجنباً للانفجار وحتى يظل التفاعل مقتصرًا على البلمرة .

وشكل (1-23) يوضح تأثير كل من الضغط ودرجة الحرارة على الظروف المهيئة للبلمرة (فقط) أو التطور بها إلى الانفجار ويتضح منه أن درجات الحرارة والضغط المنخفضين هي حدود الأمان لتجنب انفجار الغاز (لذلك يتجنب توليد الغاز في محضرات تحت ضغط يزيد عن مرة ونصف عن الضغط الجوي نظرا لارتفاع درجات الحرارة في مولد الغاز)



درجة الحرارة
 شكل (1 - 23)

هذا بجانب أن وجود بخار الماء (الرطوبة) بقدر كاف في غاز الأستلين يشجع الظروف المؤدية إلى تحلله وانفجاره ويقع خليط الغاز مع بخار الماء بنسبة 1, 15 إلى 1

(نسب جمعية في حدود الأمان أما إذا زادت النسبة عتبت هذه الحدود فإن خطر الانفجار يزداد بالإضافة إلى أن بعض المواد المحفزة كالمبينة بعد تشجع انفجار الغاز عند تلامسه معها عند درجات الحرارة الموضحة وتحسنت ضغط يعادل 4 جوى .

| المادة | درجة الحرارة °C |
|--|-----------------|
| برادة الحديد | 520 |
| برادة النحاس الأصفر | 500 |
| برادة النحاس الأحمر (نقي) | 640 |
| كربيد الكالسيوم | 500 |
| أكسيد الألومنيوم | 490 |
| الفحم المنشط | 400 |
| صدأ الحديد (هيدروكسيد أو أكسيد الحديد) | 280 |
| أكسيد النحاس | 240 |

ويتفاعل الأستلين علاوة على ذلك مع بعض المعادن الثقيلة مثل النحاس والفضة لتكوين أستيلات متفجرة ولذلك فهو لا يعبأ في أوان أو يُنقل في أنابيب من النحاس النقي (الأحمر) أو من سبائك تزيد نسبة النحاس بها عن 70% .

وتكون خلائط الأستلين مع بعض الغازات الأخرى عرضة للانفجار عند الضغط الجوى إذا وصلت درجة حرارة الخليط إلى الاشتعال الذاتى فخليط الغاز مع الهواء بنسب مختلفة ينفجر ذاتيا فى مدى درجات حرارة بين 305 - 470 °C عند الضغط الجوى أما خليطه مع الأكسجين فينفجر بين 297 - 306 °C حسب نسبة الخليط وأكثر هذه النسب تعرضا للانفجار هى بين 7 إلى 13% أستلين مع الهواء ، 6 % 30 أستلين مع الأكسجين .

ومن أهم صفات طبيعة انفجار خليط الأستلين مع الأكسجين بنسب 1:1 وهو الخليط المستخدم في اللحام ، هي إنتاج موجة تضغط وتخلخل يصل حدة الضغط بها نحو 600 ضغط جوى وتبلغ سرعة انتشارها إلى نحو 3 كيلو متر / ثانية .

ويمكن الحد من تعرض الأستلين للانفجار تحت الظروف السابقة بخلطه بغازات أخرى لا تتفاعل معه مثل النيتروجين وأول أكسيد الكربون والميثان والهيدروجين أو بإذابته في السوائل مثل الأسيتون ($\text{CH}_3 \text{CO CH}_3$) وفي الحالة الأخيرة لا يتعرض الخليط للانفجار إلا عند ضغط يتجاوز 10 جوى .

ويذوب الأستلين في كل من الماء بقدر معتدل والأسيتون بقدر كبير فاللتر الواحد من الماء يستطيع إذابة 15 لتر أستلين أما اللتر من الأسيتون فيذيب 23 لترا من الأستلين وذلك عند ضغط ودرجة حرارة الجو ويقل الذوبان بارتفاع درجة الحرارة ولذلك فإن الأسيتون يستخدم في إذابة الأستلين (لتقليل تعرضه للانفجار) ووضعه في اسطوانات تعبئة الغاز ولزيادة مقدار استيعابها من الغاز تملأ هذه الاسطوانات بمواد مسامية خفيفة مثل خلاط من الحجر الخفاف (pumice) ونقايات التربة (infusorial earth) وألياف الأسبستوس وهذه المواد لا بد أن تكون خاملة أى لا تتفاعل مع الأسيتون أو الأستلين أو جذران الاسطوانات المصنوع من الصلب وفائدة هذه المواد أن تحتوى أو تمتص سائل الأسيتون المذيب للأستلين ولذلك أهمية كبرى لسببين أولهما انتشار سائل الأسيتون بين المسام ومن ثم زيادة مساحته السطحية بالنسبة لحجمه وبالتالي سرعة إذابة الأستلين به بالضغط أو سحبه منه عند تخفيف الضغط ، وثانيهما حصر أخطار حدوث الانفجار في حدود مأونة . فعند بدء حدوث انفجار لسبب ما فإنه يكون محصورا في موقع سبب الانفجار في بادئ الأمر كما يحدث في جميع الانفجارات إلا أن نواتج التحلل من الانفجار تجد فرصة تبريدها لكبر السطح حول المسام هذا بجانب أن موجة الانفجار الأولى ستمتص بسبب ضيق الممرات الشعرية (Capillaries) في المادة المسامية ولا تستطيع الانتشار أى تحصر الانفجار في الموقع المسبب له . ولذلك تختار المواد المسامية بقدر عال من المسامية لا يقل عن 75 % وأن يكون توزيع المسام منتظم ودقيق بقدر الإمكان

ويفضل أن يكون غاز الأستلين بصفة عامة نقياً من الشوائب إلا أن ذلك متعذر في غالب الأحيان، لذلك تبذل الجهود للإقلال من وجود هذه الشوائب لأن معظمها ضار للغاز أو لعمليات اللحام . وأهم هذه الشوائب هي الهواء - وبخار الماء وبخار الأسيتون والفسجين وكبريتيد الهيدروجين فوجود الهواء كما سبق الإشارة إليه يزيد قابلية انفجار غاز الأستلين لذلك يجب أن لا تزيد نسبة وجوده عن حدود % 1,5 وإذا تجاوزت حدود % 10 فلا يجوز بأى حال استخدام الغاز فى اللحام .

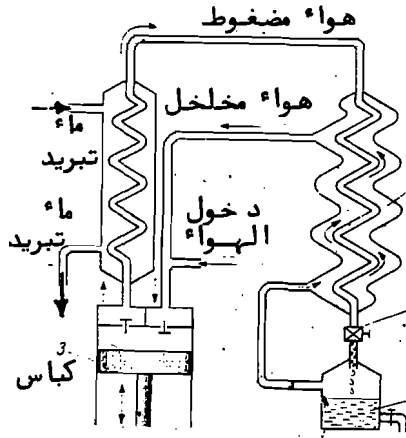
أما بخار الماء (الرطوبة) فتتوقف نسبة تشبع الغاز به على درجة الحرارة اذ تبلغ درجة التشبع 15 g / m^3 عند درجة حرارة الجو وتزداد حتى 290 g / m^3 عند درجة حرارة 80°C وذلك عند الضغط الجوى . ومن أهم عيوب وجود الرطوبة فى الغاز أنها تخفض درجة حرارة اللهب (بسبب الحرارة المستهلكة فى تحليل البخار الجزئى عند منطقة اللحام) ومن ثم خفض معدل (سرعة) اللحام ويتواجد بخار الأسيتون دائما فى غاز الأستلين بسبب سحب الأستلين للأسيتون معه عند الخروج من اسطوانة الغاز إلا أن بخار الأسيتون ليست له آثار ضارة معروفة اللهم إلا استهلاكه والحاجة إلى إعادة تعويض الفاقد بالاسطوانة ويتواجد الفسجين (PH_3) مع الأستلين أثناء توليد الغاز كما سبق إيضاحه فى توليد الغاز وتتراوح نسبة الفسجين فى الأستلين بين % 0,03 , % 18 حجماً ويشع غاز الفسجين انفجار خليط الغاز والهواء بالاشتعال الذاتى فى نطاق درجات الحرارة 100 إلى 200°C ولذلك يجب الاحتفاظ بنسبة الفسجين فى أقل الحدود ويعتبر الحد الأقصى المسموح به % 0,08 (حجماً) ويعتبر وجود كبريتيد الهيدروجين ($\text{H}_2 \text{S}$) ضاراً فى الأستلين إذا استخدم الغاز فى اللحام إذ أنه يزيد نسبة الكبريت فى وصلة اللحام وبالتالي قسافة الوصلة ولذلك لا يسمح بوجود كبريتيد الهيدروجين فى حدود تتجاوز % 25 , 0 إلا أن الحدود العداولة لغازى الفسجين وكبريتيد الأيدروجين تقـع بين % 0,02 , % 0,05 على الترتيب بينما يصل الهواء إلى % 2

غاز الأكسجين O_2

يحضر غاز الأكسجين على النطاق التجارى من الهواء بعد إزالته وتبريده إلى درجات حرارة شديدة الانخفاض شكل (1 - 27)

فالهواء يحتوى على النسب التالية
من الأكسجين والنيروجين
مع درجة غليان كل غاز .

| درجة الغليان | وزن % | حجم % | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| نيروجين | 75,66 | 78,03 | N_2 |
| أكسجين | 23,13 | 20,93 | O_2 |
| أرجون | 1,29 | 0,933 | Ar |
| معاكس تيار | | | |
| والباقي خليط من نيون وهليوم | | | |
| وكريبتون وكسينون وهيدروجين | | | |
| وثاني أكسيد الكربون . | | | |
| ويتضح من درجات غليان | | | |
| الغازات المكونة للهواء (درجة | | | |
| تحول العناصر من الحالة السائلة | | | |
| إلى الحالة الغازية) إنها | | | |



شكل (1 - 27)

مقاربة وبتحويل الهواء من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة بالتبريد والضغط ثم رفع درجة الحرارة تدريجياً نجد أن النيتروجين يغلي أولاً (وبالقرب منه الأرجون الذي يخرج معه ويبقى الأكسجين المسال الذي يزيد تركيزه ونقاؤه بإعادة التبريد والتسخين (للتقطير) لعدة مرات فيتم التخلص في كل مرة من كميات من النيتروجين والذي يخرج معه الأرجون ويسبق مراحل استخلاص الأكسجين من الهواء الجوى تنقية الهواء من الأتربة والرطوبة وثاني أكسيد الكربون ثم يتم ضغط الهواء النقي إلى ضغط يتراوح بين 300 ضغط جوى (حسب تصميم محطة التبريد) ثم تبريد الهواء المضغوط في وحدة تبريد (تستخدم غازات الأكسجين والنيروجين الناتج من التقطير وبمساعدة تبريد أولى بالنوشادر) وفي المرحلة الأخيرة يتم تخفيف الضغط على الهواء المسال (بالتمدد خلال أنبوب (Throttling Nozzle) إلى الحد الحرج الذي عنده ينفصل النيتروجين في صورة غاز (مع الأرجون) ويظل الأكسجين سائلاً أو يحول إلى غاز في مرحلة لاحقة ويُعبأ في اسطوانات تحت ضغط متوسط (بالكبس) 30 ضغط جوى للاستهلاك في المواقع القريبة من المصنع أو تحت ضغط مرتفع يصل إلى 150 جوى للاسطوانات التي تنقل للاستخدام العادى بعيداً عن الموقع .

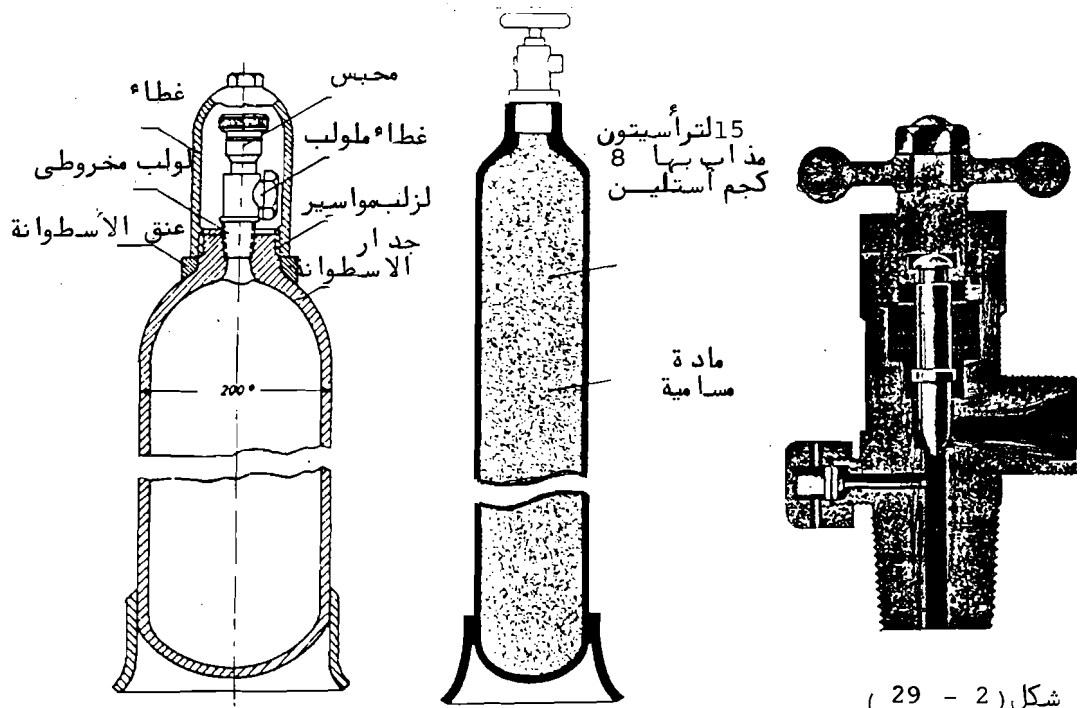
ويتجمد الأكسجين السائل عند درجة حرارة - 218,4 عند الضغط الجوى فى شكل بلورى أزرق اللون . وسائل الأكسجين قد يظل على حالته خلال التعبئة والنقل إلا أنه يحول إلى غاز قبل استخدامه فى اللحام والقطع إذ يتحول اللتر الواحد من سائل الأكسجين إلى 860 لتر أكسجين غازى عند ضغط ودرجة حرارة الجو .

لذلك تتبين الحكمة من تعبئته ونقله فى صورة سائلة لتوفير الحجم . ورغم أن الاسطوانات تحتوى على الأكسجين إلا أن معدل الصدأ يكون ضئيلاً جداً طالما كان الأكسجين خالياً من الرطوبة وطبقة الأكسيد الأولية التى تتكون تكون متصلة ومحكمة وتمنع تطور الأكسدة وبالتالي لا خطر من وجودها أما فى حالة الأكسجين الرطب فإن التأكسد يتطور إلى الصدأ مكوناً هيدروكسيد الحديد المسامى الذى لا يمنع تطور التأكسد وغزو جدران الاسطوانة والقضاء عليها بعد عمر قصير . ويسوء الأمر بشدة عند ما تكون الرطوبة محتوية على الأملاح المعتادة أى ليست رطوبة نقية (ماء نقى) . أما إذا كانت الرطوبة موجودة بدون الأملاح المعتادة فإن عمر الاسطوانة يطول إلى أكثر من عشرين عاماً دون الحاجة إلى تغييرها بسبب التآكل بالصدأ إلا أنه يجب اختبارها لتحمل الضغوط بين حين وآخر .

أسطوانات تعبئة الغازات

تكون أسطوانات تعبئة الغازات على شكل أنابيب أسطوانية الشكل بنهايتين كرويتين (لحسن توزيع الاجهادات) ينتهى إحداها بقاعدة ليسهل قيام الأنبوبة فوقها فى وضع رأسى والآخر بمخرج للغاز شكل (1 - 29) ينتهى بمحبس للتحكم فى غلق أو فتح خروج الغاز شكل (2 - 29) ويجب المحافظة على اسطوانات الغازات وعدم تعرضها للصدأ كالسقوط أو نقلها بالروافع المغناطيسية .

وبصفة خاصة يجب عدم وضع أية مواد دهنية أو زيوت أو مواد قابلة للاشتعال فى أنابيب الأكسجين أو وصلاته إذ أن ذلك يعرضها للاشتعال والانفجار ولذا لك يجب عدم الاهتمام بوصلات الأكسجين من أول الخط إلى آخره وحتى بورى اللحام وعدم استخدام هذه المواد للتزليق أو خلافه بل يجب أن تظل كافة الوصلات جافة .



شكل (2 - 29)

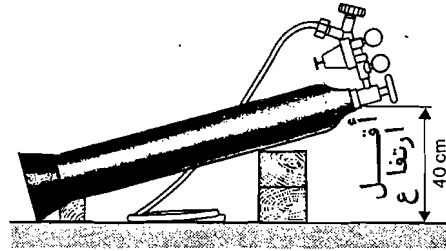
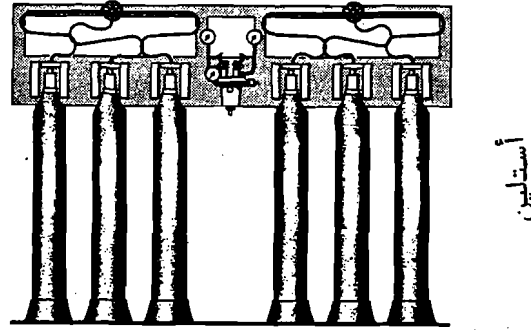
شكل (1 - 29)

وتعبأ أسطوانات الأستلين بسائل الأستيتون الذي يذيب غاز الأستلين بشراهة وبصفة خاصة تحت الضغط المرتفع . وتصل شحنة الأستيتون في أسطوانات نحو 16 لترا تحت ضغط 18 جوى ودرجة حرارة 15°C وهذه الشحنة تذيب 8 Kg من الأستلين ($6\frac{3}{4}\text{ m}^3$ تحت الضغط الجوى) وبجانب ذلك تملأ الاسطوانة بمادة مسامية من الأسبستوس والفحم النباتي وحصى السليكا (diatomite) لتتشبع بالأستيتون المذيب للأستلين ومن ثم تصبح شحنة الاسطوانة من مادة مسامية مشبعة بالأستيتون المذاب فيه الأستلين وبالتالي لا يتعرض الأستلين للانفجار وتبلغ سعة أسطوانة الأستلين فى المعتاد 40 لترا وتميز باللون الأصفر وتصنع من الصلب بسمك يتراوح بين 4 , 5 mm وتجهز بمخرج ذى إطار قطره 15,5 mm

أما أسطوانات الأكسجين فتصنع من الصلب المشكل بالسحب العميق (غير الملحوم) بسمك 8, 75 mm ويعبأ الأكسجين تحت ضغط مرتفع يبلغ 150 جوى وسعتها تبلغ أيضا 40 لترا من الغاز المضغوط $l = 6\text{ m}^3$ $150 \times 40 = 6000$ (6 متر مكعب تحت الضغط الجوى) وتميز باللون الأزرق ويكون لولب مخرجها 3 / 4 بوصة يميني وتميز أسطوانات غاز الهيدروجين وسائر غازات الاشعال الأخرى باللون

الأحمر . ويكون مخرجها ($14'' / 1$. $W. 21,8$) يساوى .

ويجب العناية التامة باسطوانات غازى اللحام بالحفاظ عليها من السقوط وعدم قذفها عند النقل وعدم تعرضها للهب أو لحرارة الشمس حتى لا تنفجر . ويجب فتح محبس الغاز المركب فوق الاسطوانة للحظة قصيرة جداً قبل توصيلها بوصلات بوارى اللحام وذلك للتخلص من الصدأ والمواد الأخرى التى قد تتواجد بها . كما يجب أن تظل الاسطوانات في وضع رأسى أثناء التشغيل . ولا يجوز أن يزيد معدل استهلاك غاز الأستلين عن 1000 l/h حتى لا يترتب على ذلك خروج الأستلين مع الأستلين ويكون معدل استهلاك الأستلين فى المتوسط 100 لتر فى الساعة لكل مليمتراً من تخانة الشغلة وعند الحاجة إلى استخدام الأستلين بمعدل استهلاك أعلى من الحدود المذكورة فإنه يفضل استخدام مجموعة من الاسطوانات (بطارية) متصلة ببعضها البعض شكل (1 - 30)



شكل (1 - 30)

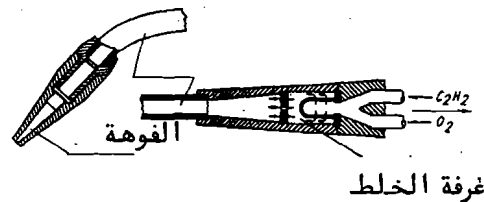
بورى (حراق = لمبة) اللحام :

يتم خلط غاز الاستلين وغاز الأكسجين فى بورى (حراق = لمبة) يمكن بواسطته التحكم فى النسبة بين الغازين وخلطهما خلطا جيدا ثم نفثهما من فوهة ضيقة تمهيدا لاشعالهما ويصنع البورى بصفة عامة من سبيكة النحاس الأصفر نظرا لتوصيلته الجيدة للحرارة ولمقاومته للصدأ وجودة خواصه الميكانيكية وهناك نوعان رئيسيان من البورى

- بورى الضغط المتعادل (المتساوى) Equal Pressure Torch
- البورى الحاقن Injector Torch

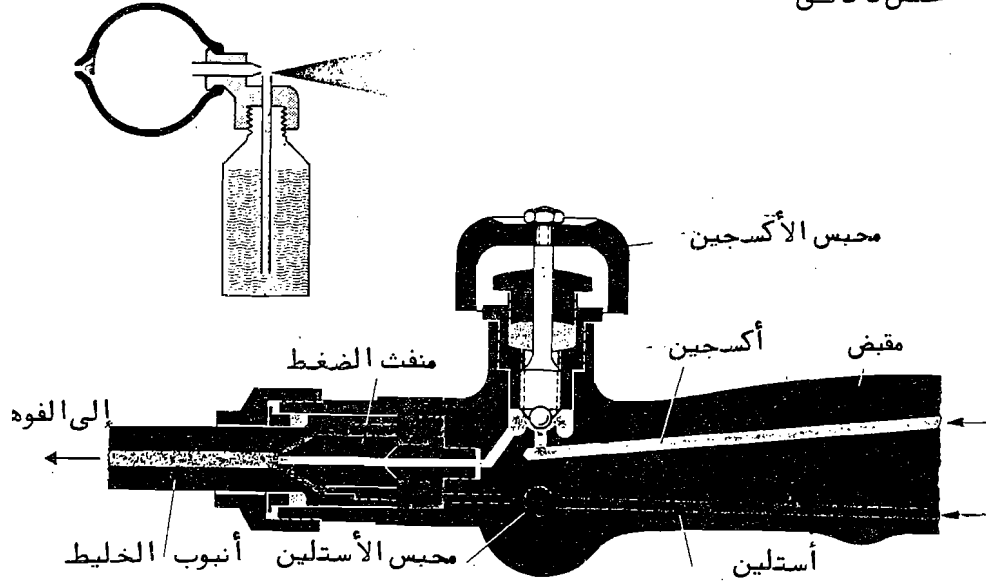
ويستخدم النوع الأول عند ما يتيسر الحصول على غازى الأكسجين والأستلين بضغط موجب (فوق الضغط الجوى حوالى 1 , 0 جوى) وفى حدود متقاربة ويتراوح ضغط الأستلين بين 0,1 ، 1 جوى ويكون الأكسجين فى هذه الحدود تقريبا (قد يصل حده الأقصى الى 2 جوى) شكل (1 - 32)

أما النوع الثانى وهو الحاقن وهو الأكثر شيوعا فيستخدم عند ما يقل ضغط الأستلين عن 1 , 0 جوى وهو الضغط الذى تعطيه محضرات الغاز ذات الضغط المنخفض مباشرة حينئذ يستفاد بضغط الأكسجين المرتفع (من الاسطوانات) والذى يتراوح بين 1 ، 3 جوى فى سحب الأستلين وحقنه فى البورى بعد اختلاط الغازين شكل (1 - 31) ولهذا السبب يصمم هذا البورى بحيث يمر غاز الأكسجين فى ممر اختناق حيث تزداد سرعته ويقل ضغطه (عن الضغط الجوى) ويوصل غاز الأستلين بهذه النقطة ذات الضغط المنخفض حيث يقع هذا الغاز تحت فرق ضغط مناسب (الضغط الأسمى الموجب والضغط السالب عن نهاية اختناق الأكسجين) فيدخل ويختلط بغاز الأكسجين فى غرفة لاحقة بالحراق .



شكل (1 - 32)

وتصمم البوارى بعناية تامة لتأمين استخدامها ضد الانفجار (أى اشتعال خليط الغازين داخله) أو رجوع اللهب إلى داخل البورى وربما إلى الخراطيم ومصدر الغاز الأمر الذى قد يتسبب فى انفجار وخيم العواقب . لذلك لا يجوز العبث أو إجراء أى تعديل فى مميزات أو فى تصميم البورى لأن ذلك يعرضه للاستخدام غير الآمن . وهناك اختبارات قبول للبوارى لتحقيق مدى الأمان . وذلك باشتعال البورى ووضعه فى وضع رأسى تماما وفوهته إلى أسفل ويوضع قالب من الطوب الحرارى على بعد 60 mm من طرف البورى بحيث يرتد اللهب من الطوب إلى البورى حيث يسخن طرفه وبعد برهة يحدث انفجار متوسط فى طرف البورى ويعتبر الزمن الذى يمتد خلاله البورى قبيل الانفجار مقياسا لجودة تصميم الحراق . ويجب قبل إجراء هذا الاختبار أن يؤمن البورى والخراطيم والمجموعة كلها ضد تطور الانفجار باستخدام صمامات أمن كافية . ويعتبر البورى مقبولا إذا زاد صموده عن ثلاث دقائق وتصمد الأنواع الجيدة لما يزيد عن خمس دقائق .



شكل (1 - 32)

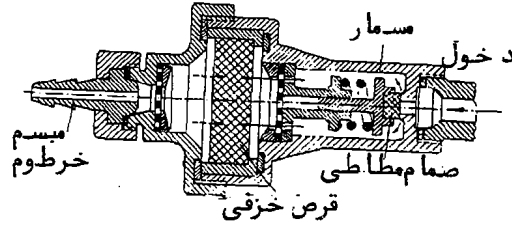
صمام الأمن :

ويستخدم لتأمين عدم انعكاس اللهب في وصلات الغاز وهو عبارة عن صمام عدم رجوع .
وهناك أنواع كثيرة من صمامات الأمن إلا أنه يمكن تقسيمها إلى نوعيين رئيسيين الأول جاف شكل (1 - 33) ونوع يعمل باستخدام الماء شكل (2 - 33)

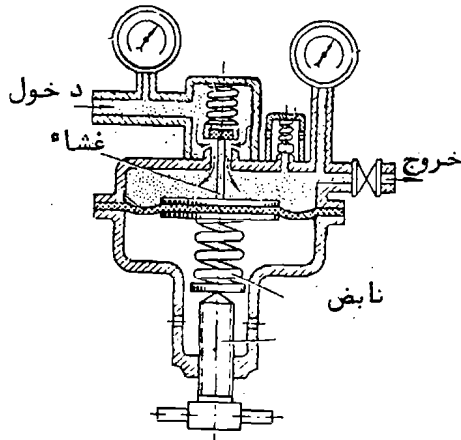
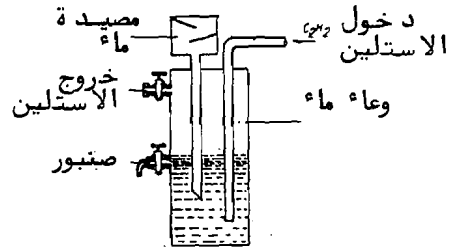
منظم الغاز :

وفائدته تخفيض ضغط الغاز من ضغط المصدر إلى الضغط المستخدم في اللحام مع تنظيم ضغط خروج الغاز للحام بغض النظر عن تغير ضغط غاز المصدر .

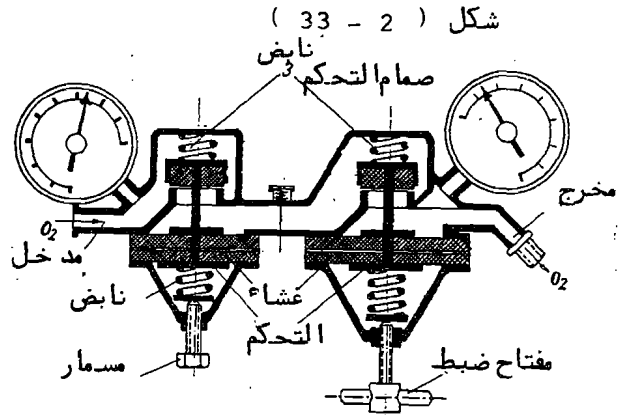
وهناك نوعان من هذه المنظمات . النوع الأول يقوم بمهمته على مرحلة واحدة شكل (3 - 33) والنوع الثاني يخفض الضغط على مرحلتين شكل (4 - 33)



شكل (1 - 33)



شكل (3 - 33)



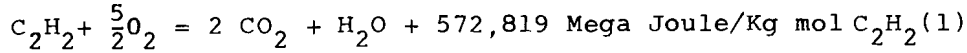
شكل (4 - 33)

خراطيم توصيل الغاز :

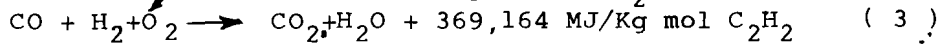
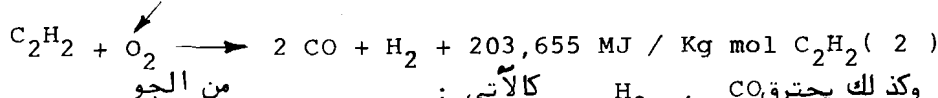
تصنع الخراطيم من المطاط المدعم بنسيج خيوط القطن والنايلون وتبلغ في أطوالها 5 m على الأقل وتحمل الضغط إلى نحو 40 ضغطا جويا . وتتراوح أقطارها الداخلية بين 4 mm ، 11 mm وتصنع لها أطراف تثبيت خاصة تجعل من العسير انفلاتها عنها
شكل (1 - 33) (مبسم الخرطوم)

اختيار نسب الأستلين والأكسجين :

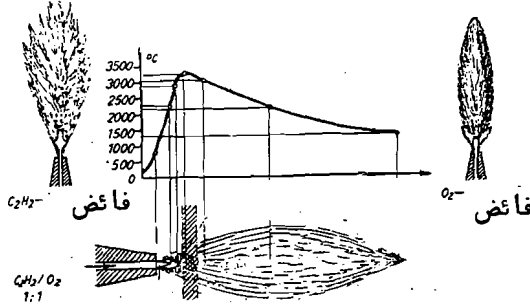
يحترق الأستلين مع الأكسجين احتراقا تاما حسب المعادلة الآتية .



ويكون اللهب الناتج من هذا الاحتراق في المعتاد مرتفعا في درجة حرارته بجانب أنه يعتبر مؤكسدا (لتدخل أكسجين الهواء الجوى في التفاعل) للمواد المطلوب لحامها ، ولذلك لا يصلح إلا للحام الفلزات التي لا تتأثر بالأكسدة واللافلزات (كالسيليكا) أما في عمليات لحام الفلزات والسبائك المعتادة فتختار نسب الأستلين إلى الأكسجين بما يعادل 1 : 1 حجما (أو أوزان جزيئية) ويتم التفاعل على النحو التالي :



ويلاحظ أن كمية الحرارة المتولدة في التفاعل الأخير تبلغ نحو ضعف



تلك المتولدة في التفاعل الأول في المعادلة (2) أي المتولدة في المراحل الأولى للاحتراق . وبالرغم من ذلك فإن درجة الحرارة المتولدة في

شكل (1 - 35)

المراحل الأولى تزيد كثيرا عن تلك الناتجة في المراحل الأخيرة من التفاعل (3) وذلك لتركيز الحرارة الأولى في حجم ضيق من مخروط اللهب بينما تتوزع الحرارة الأخيرة على حجم كبير في اللهب ومن ذلك يتضح أن أقصى درجة حرارة يتوصل إليها تقع مباشرة عقب المرحلة الأولى من التفاعل ثم تتضاءل درجة الحرارة بعد ذلك بالابتعاد عن هذه المنطقة سواء بالاقتراب ناحية فوهة بوري اللحام أو الجهة العكسية (الطرف الحر) والشكل (1 - 34) يبين لهبالبورى مع توزيع درجة الحرارة على مناطق وتكفى درجات الحرارة المتولدة من لهب الأكسى أستلين للحام معظم الفلزات وسبائكها ولو أن معدلاتها فى اللحام أبطأ وأهدأ من اللحام بالقوس الكهربائى حيث ترتفع درجة الحرارة وتتركز فى مناطق محدودة فى الأخير .

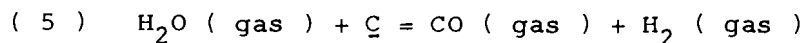
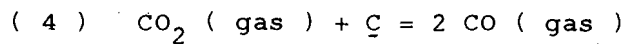
هذا بجانب أن على الحرارة أن تنتقل من اللهب إلى الوصلة المطلوب لحامها بالأكسى أستلين بينما تتولد الحرارة مباشرة فى الوصلة فى حالة اللحام بالقوس الكهربائى . ولذلك يصعب لحام الفلزات والسبائك جيدة التوصيل للحرارة كالنحاس والألومنيوم بلهب الأكسى أستلين لتسرب كمية كبيرة من الحرارة عبرها بسرعة دون تجمعها فى منطقة اللحام لرفع درجة الحرارة .

ويُعتبر لهب الأكسى أستلين مناسباً جداً للحام الصلب للـ (فـ) (فقير الكربون) خاصة وأنه يضمن جواً واقياً لها من الأكسدة أثناء اللحام عند استخدام نسب متكافئة بين الأستلين والأكسجين .

(1) O_2 : C_2H_2 (1) . ويطلق على هذا اللهب (لهب متعادل) .

ومن ناحية أخرى فاللهب المتعادل له ميزة هامة وهو أنه لا يتدخل أو يلعب دوراً ما فى تغيير تركيب فلز أو سبيكة الوصلة (سواء بالأكسدة أو بالاختزال أو بالكربنة) .

أما إذا زادت نسبة الأكسجين قليلاً عن النسبة المتعادلة المذكورة فإن اللهب سيحتوي على بخار ماء وثانى أكسيد الكربون فيصبح اللهب مختزلاً للكربون كالتى :

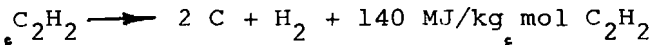


أى باختزال جزء من كربون فلز الوصلة وحتى فى وجود قدر ضئيل من الغازات المؤكسدة إذ يبدأ السليكون بالتأكسد وتنخفض نسبته من بركة المنصهر . وتكون نسبة الأكسجين فى اللهب المؤكسد فى نطاق

وترتفع درجة حرارة اللهب عن الحد الأقصى من الأكسجين ($1,7 \text{ O}_2$) بنحو 300°C زيادة عن اللهب المتعادل ويتركز هذا الارتفاع في قلب اللهب حيث يبلغ مقدار التأكسد مداه .

وهذا اللهب لا يصلح بأى حال من الأحوال للحام الصلب الطرى بينما يصلح للحام النحاس والفضة وباقي الفلزات النبيلة والافلزات مثل السيليكا المصهورة .

ومن ناحية أخرى لو قلت نسبة الأكسجين عن نسبة اللهب المتعادل فإن التفاعل الأخير لا يتم داخل اللهب بل يبقى جزء من الأستلين دون الاشتعال ويتحلل الى :



ويبدو الكربون الناتج في لون أزرق (ريشي) في مقدمة مخروط اللهب أى في المنطقة التي توجه لوصلة اللحام وما يليث أن يذوب هذا الكربون في الصلب المنصهر (في حالة لحام الصلب) عند الوصلة وبذلك ترتفع نسبة الكربون في الصلب عند الوصلة . ويسمى هذا اللهب باللهب المكريب .

وهذه الكربنة في الصلب ليست بالأمر الخطير طالما لم يبالغ في زيادتها (بعدم المبالغة في نقص الأكسجين واللحام بمعدلات غير بطيئة) بل قد يستفاد باللهب المكريب في حالة لحام أنواع الصلب المعتادة (بسرعات معقولة) ويلهب بنسبة أستلين ، اكسوجين ($0,9 : 1$) فترتفع نسبة الكربون عند الوصلة إلى مقدار يتراوح بين $0,4\%$ إلى $0,5\%$ وتكون هذه الكمية في الصلب بنيتها بيرليتية خفيفة إذا كان التبريد بمعدلات بطيئة كالمعتاد (لم يحدث تبريد سريع بالتسقية) هذا بجانب ما لزيادة نسبة الكربون عند الوصلة من مزايا خفض درجة الحرارة انصهار الأمر الذي يسهل التحكم في توجيه البركة المنصهرة في خط اللحام فتزيد سرعة اللحام (إلى نحو $30\% \div 40\%$) عن المعدل المعتاد .

ويعتبر لحام الأكسى أستلين بوجه عام أنسب الأنواع للحام الصلب وأضمن لعدم تعرضه لعوامل التصليد عن اللحام بالقوس الكهربائي . وذلك لاتساع نطاق المساحة التي يسيطر لهب الأكسى أستلين عليها فيغطي مفعول التسخين البطيء نسبيا) (Post (after) Heating Effect .

استخدام البورى فى عمليات اللحام :

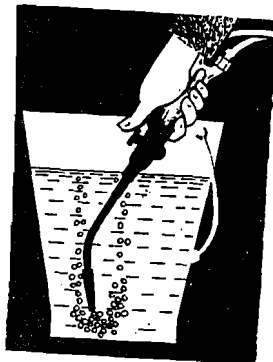
أنه لنجاح عمليات اللحام لا بد أن تتوافر الظروف التالية :

- استخدام بورى سليم ذى فوهة غير ملوثة أو بها خبث .
- اختيار بورى بمقاس مناسب لثخانة الوصلة .
- ضبط صحيح للهب البورى (لهب متعادل أو مؤكسد أو مختزل حسب ظروف اللحام والوصلة) .
- إعداد طرفى الوصلة وتجهيزها بالشكل المناسب حسب ثخانتها شكل (1 - 38)
- اختيار سلك الحشو (اللحام) المناسب سواء من ناحية تركيبه أو قطره فيختار قطره بحيث إنه عند ما يوضع السلك فى اللهب ويلامس طرفه بركة المنصهر ينصهر طرف السلك فوراً . أما تركيب السلك فيكون على سبيل المثال

| C | Si | Mn |
|------------|-----------|-----------|
| 0,25-0,3 % | 0,3-0,5 % | 1,2-1,5 % |

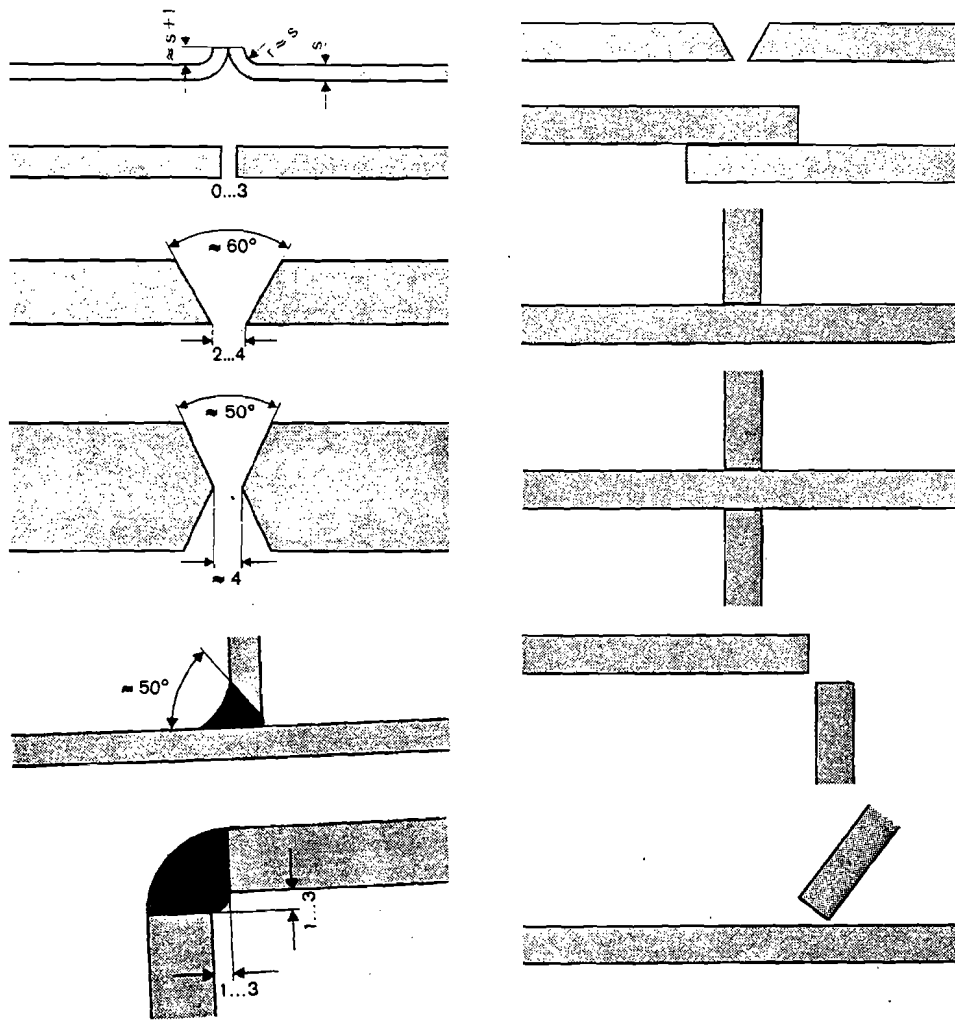
- الذى يصلح للصلب الكربونى الفقير والمتوسط
- استخدام مساعد صهر Flux كلما نشأت الحاجة إلى ذلك (مثل لحام الألومنيوم والصلب المقاوم للصدأ والنحاس وسبائكه) .
- استخدام الأسلوب التكنولوجى السليم فى عملية اللحام (كوضع البورى وسلك الحشو وخلوه من الملوثات كالصدأ والزيت والدهون وغيرها) .

ويحتاج اللحام بغاز الأكسى أستلين اليدوى إلى العدد اليدوية التالية

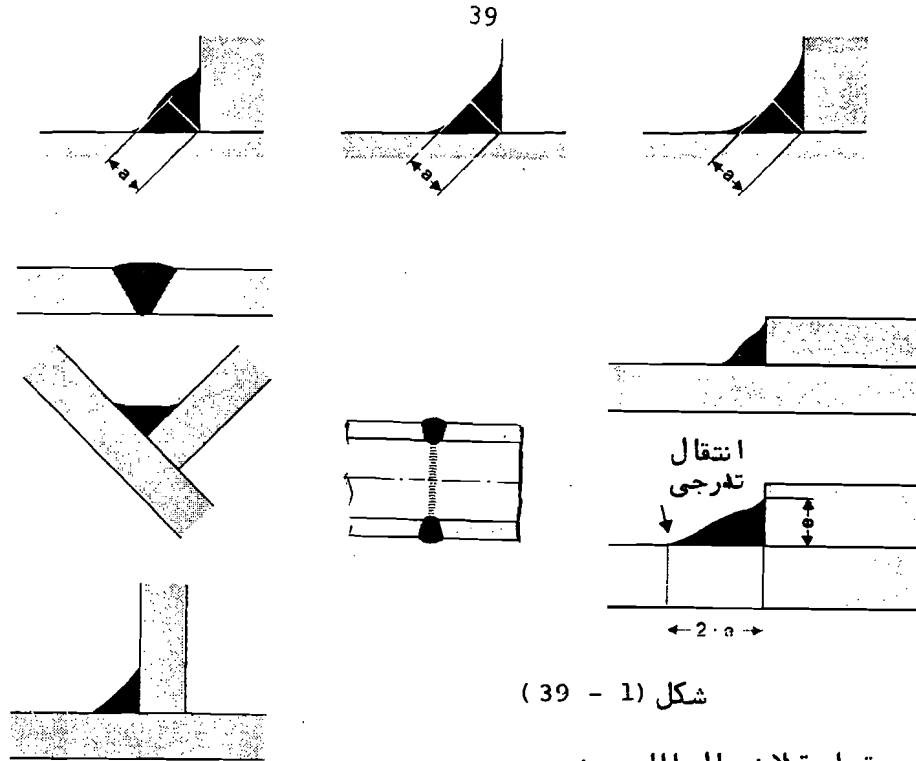


- 1 - طاقم مفاتيح مقاسات من 8 إلى 32
- 2 - فرشاه سلك لتنظيف الشغلة قبل وبعد اللحام
- 3 - حوض به ماء لتبريد بورى اللحام من حين لآخر ولا اختبار إحكام الوصلات شكل (1 - 37)

شكل (1 - 37)



شكل (1 - 38)



شكل (1 - 39)

- 4 - قداحة (لشعال اللهب) .
- 5 - مبارد مختلفة الأشكال والمقاسات .
- 6 - مطرقة (500 g) .
- 7 - مطرقة كروية الطرف لطرق موقع اللحم على البارد وعلى الساخن .
- 8 - علبة لحفظ أسياخ الحشو .
- 9 - علبة لحفظ بقايا أسياخ الحشو .
- 10 - ملزمة (منجلة) .
- 11 - مشجب (حامل) لتعليق الخراطيم .
- 12 - طاقم سلاكات لنفث (فونية) البورى مقاسات مختلفة .

أسلوب اللحم بالأكسى أستلين :

تجهز الوصلات فى أطرافها بأشكال مختلفة تختلف باختلاف ثخانة أو أبعاد موقع الوصلة شكلا (1 - 38) ، (1 - 39) يوضحان عرضاً لأهم هذه الأشكال واستخدامها ويرتبط بذلك طريقة (أسلوب اللحم) ويقصد بذلك كيفية تحريك لهب بورى اللحم وسلك اللحم فوق موقع اللحم . ويتم التحريك فى اتجاهات متعددة سواء للبورى وحده أو مع سيخ اللحم (الحشو) معا (إذا اقتضى الأمر استخدام سيخ اللحم)

واختيار هذه الاتجاهات مرتبط بشخانة المعدن وعملية التجهيز المذكورة وموضع الشغلة بالنسبة للعامل وفي كل الأوضاع يجب العمل على تثبيت طرفي الوصلة بالنسبة لبعضهما البعض حتى يمكن الحفاظ على الثغرة المناسبة بينهما ويمكن أن يتم هذا التثبيت بقوة كافية بعمل بقع لحام في نهايتي خط اللحام على الأقل (وقد يحتاج الأمر إلى عدة بقع إذا كان خط اللحام طويلاً وهذا التثبيت يطلق عليه التثبيت Tacking . وقد يحتاج الأمر إلى استخدام مثبتات للوصلة Fixtures إذا نشأ احتمال تشوها من جراء التسخين الموضعي أثناء عملية اللحام .

وتحتاج هذه المثبتات إلى تصميم خاص لا يتسع المجال هنا إلى تفصيلها ويرجع في ذلك إلى المراجع المتخصصة .

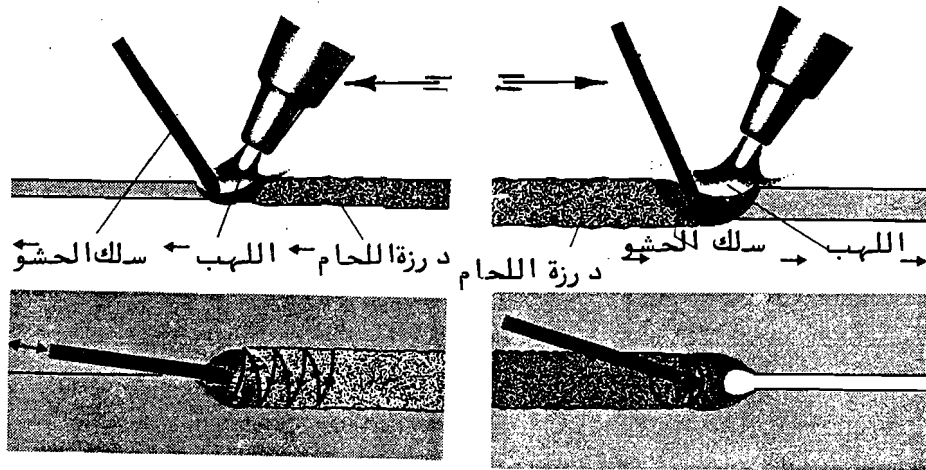
اللحام في الأوضاع المختلفة :

قد تكون حركة يد العامل من اليسار إلى اليمين أى يتبع سلك اللحام لهب البورى (الحراق متقدم) فيسمى اللحام نحو اليمين (خلفى) أو يكون العكس أى يتبع بورى اللحام السلك فيسمى اللحام نحو اليسار (أمامى) وهناك أيضاً اللحام فى اتجاه رأسى حيث تكون الحركة من أسفل إلى أعلى (السلك يتبع البورى) . وقد يكون اللحام فى السقف يميناً أو يساراً .

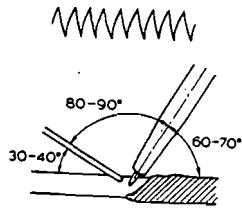
أولاً : اللحام الأفقى نحو اليمين (الخلفى) شكل (1 - 41) .

يستخدم هذا الأسلوب فى الألواح التى تزيد شخانتها عن 3 mm وفيها يأخذ السلك حركة إضافية وعمودية على خط السير فى شكل دوائر حلزونية ولا يحرك البورى إلا حركته التقدمية المستقيمة وتتميز هذه الطريقة بسهولة رؤية ومراقبة البركة المنصهرة وطرفي الوصلة وكذلك اختراق جيد اللحام مع حماية اللهب لبركة اللحام وسيخ اللحام من التأكسد بفعل الهواء الجوى . كما تتصف درز اللحام بضيقها مع اقتصاد فى استهلاك الغاز وزيادة ملحوظة فى سرعة اللحام (30 %) هذا بجانب خلوص اللحام من الفقاعات والخبث بسبب الانصهار الجيد لبركة اللحام ولا تتعرض الوصلة للتشويه الكبير الناشئ من الجهود الحرارية

ويرجع ذلك إلى سرعة اللحام . ويؤثر ذيل اللهب الممتد على الدرز المنتهية في معالجة الوصلة حراريا فيصغر الحبيبات الأمر الذي يؤدي إلى تحسن ملحوظ في الخواص الميكانيكية للوصلة .



شكل (1 - 41)



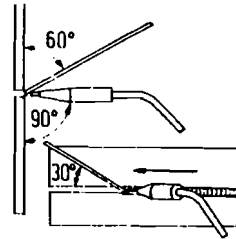
شكل 41-2

اللحام نحو اليسار (الأمامي) شكل (2 - 41)

يسبق سيخ اللحام في هذا الأسلوب البورى عند تحركهما من اليمين إلى اليسار وتتراوح الزاوية بينهما بين 80° ، 110° أما زاوية ميلهما على الوصلة فتتوقف على ثخانة الوصلة . وتمارس حركة بند وليقة متقدمة (زجاج) للبورى لتحقيق حماية مساحة كبيرة من الوصلة ويظل سلك الحشو ملتزما بحركته الخطية المستقيمة في اتجاه اللحام (منع حركة محورية من وقت لآخر لفصل القطرات المنصهرة . وتقتصر هذه الطريقة على لحام ألواح الصاج الرقيقة ذات ثخانة لا تزيد عن 3 mm وكذلك المعادن غير الحديدية ومن أهم ميزات هذه الطريقة سهولة التحكم في البركة المنصهرة وتكون درز ناعمة . إلا أن أهم عيوبها سهولة تلوث وانسداد منفذ البورى وسخونة طرفه وتعرضه للفرقة

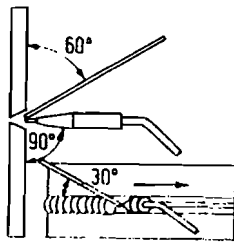
مع زيادة استهلاك الغازات ويطء عملية اللحام مع احتمال وجود قطرات لم تنصهر انصهارا كاملا (مواقع باردة) تؤدي إلى سوء خواص الوصلة . ويجدر بالذكر في هذا المقام أن العلاقة بين شخانة ألواح الصلب المطلوب لحامها واتجاه اللحام المنوه إليه ينطبق على الصلب فقيـــــر الكربون (اللدن) أما إذا كان هذا الصلب من النوع متوسط أو مرتفع الكربون والذي يتصف بحساسيته للدرجات الحرارية واحتمال تصلده عند التبريد السريع فإن الوضع ينعكس أي يستخدم اللحام الأمامي (اليسار) في لحام ألواح ذات الشخانة التي تزيد عن 4 mm إذ يتقدم في هذه الحالة ذيل اللهب ذو درجة الحرارة المنخفضة اللهب الرئيسي المرتفع في درجة حرارته فيمهد ذلك اللهب موقع اللهب بتسخين أولي ثم يأتي اللهب الرئيسي ليتولى الصهر واللحام ثم ينتهي التسخين فجأة ولما كانت الوصلة شخينة فإن كمية الحرارة المختزنة بها خلال عملية اللحام تتولى إبطاء معدل التبريد ومن ثم لا يحدث تصلـد (لعدم تكون مرتنسيت أو أية مكونات بينية صلبة) . أما في ألواح الصلب الرقيقة (أقل من 4 mm) متوسط وعالي الكربون فإن اختيار أسلوب اللحام الخلفي يكون أكثر مناسبة إذ أن هذه الشخانات لا تحتاج إلى تسخين أولي ويسهل صهرها ولحامها باللهب الرئيسي مباشرة بينما تحتاج هذه في المقام الأول إلى إبطاء معدل التبريد وفي هذه الحالة يتولى ذيل اللهب هذه المهمة إذ أن الحرارة المختزنة في الوصلة ليست بالقدر الكافي نظرا لرقة الألواح .

اللحام الأفقي على مستوى رأسى شكل (1 - 42)



Horizontal-Vertical Position

نحو اليسار



نحو اليمين

شكل (1 - 42)

يمكن أن يتم هذا اللحام إما بالأسلوب الأمامي أو الخلفي السابق الإشارة إليه ويمارس البورى حركة نصف دائرية . ويلاحظ فى هذا اللحام عدم تماثل نصفى الدرز وتجمع المعدن على الطرف الأسفل للوصلة إلا أنه يمكن التغلب على ذلك بتوجيه اللهب لفترة أطول نحو الطرف الأسفل للوصلة دون السماح بسقوط قطرات منصهرة ويكون طرف سبيخ الحشو أكثر قربا من الطرف العلوى للوصلة . أى أن الحصول على وصلة متجانسة ومتماثلة فى شكلها يعتمد فى المقام الأول على الممارسة والخبرة .

ثانيا : اللحام الرأسى شكل (2 - 43)

Vertical Welding

أوضاع اللحام المختلفة

محاكاة بالساعة

6 = وضع أفقى أرضى

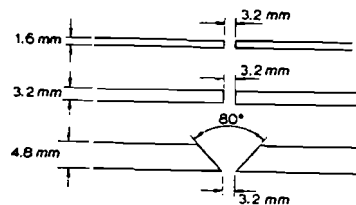
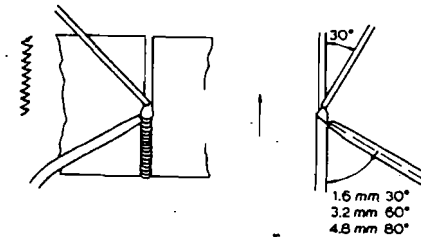
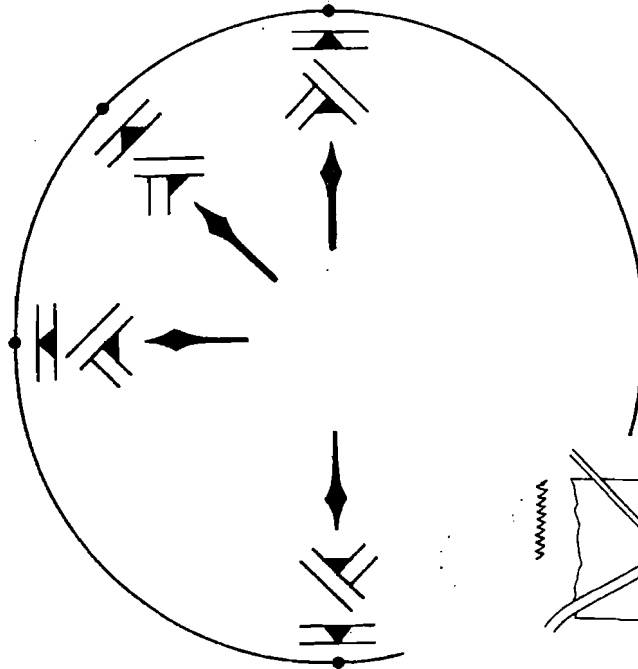
9 = لحام أفقى على

مستوى رأسى

10, 30 = لحام أفقى سقفى

ماثل

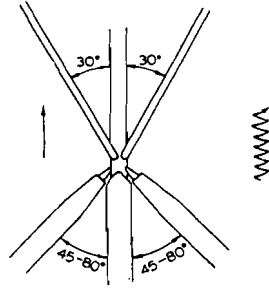
12 = لحام سقف



شكل (2 - 43)

يعتمد نجاح اللحام الرأسى على التجهيز الأولى لطرفى الوصلة إذ يؤثر ذلك مقدار سلك الحشو المستخدم والغاز المستهلك وجودة الوصلة ومقاومتها للإجهادات فلا تحتاج المشغولات التى تقل ثخانتها عن $2, 3 \text{ mm}$ الى تجهيزها وكذلك الوصلات حتى ثخانة $4, 8 \text{ mm}$ إذا قام باللحام عامل لحام واحد . أما إذا زادت ثخانة الشغلة عن $8, 4 \text{ mm}$ وحتى 16 mm فإن المعتاد أن يقوم باللحام عاملان فى آن واحد من الناحيتين ويشطب (يشطف) طرفا الوصلة على شكل حرف \vee . ويتم اللحام إما صعوداً وهبوطاً ويسبق سلك الحشو اللهب دائماً . وفى اللحام الصاعد يستفيد العامل بالمعدن الذى تجمد كقاعدة (ساند) لبركة المنصهر . ويبدأ اللحام بثقب الوصلة باللهب عند بدء خط اللحام ليشكل هذا الثقب مكاناً مناسباً لبركة المنصهر ويستمر الاحتفاظ بتشكيل هذا الثقب صعوداً وهذا من شأنه كذا أن يحقق نفاذاً جيداً للحام حتى الوجه الثانى (الظهر) للوصلة .

وفى حالة قيام عاملين باللحام صعوداً فإنهما يستخدمان لهما متعادلاً ويكون مقاساً منفثى البوريين صغيرين ومتساويين ويفضل أن يستمد البوريان غازيهما من منبع واحد لتأمين تساوى شدة اللهبين . ويحتفظ بممسك اللهبين متساويين وكذلك ميل سلكى الحشو (شكل 1 - 44) ويمكن أن يستخدم هذه الطريقة بنجاح حتى ثخانات تصل إلى 16 mm دون الحاجة فى كثير من الأحيان



شكل (1-44)

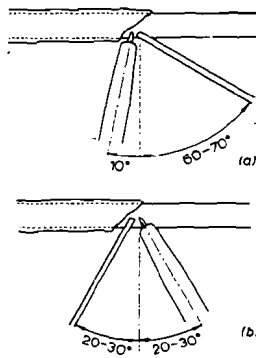
إلى تجهيز الوصلة مسبقاً . وتتميز هذه الطريقة بانخفاض معدل استهلاك الغازات (إلى أقل من 50%) عن اللحام هبوطاً كما تقلل الإجهادات الحرارية المتخلفة بسبب سرعة اللحام .

وفى الوصلات الرقيقة لا يحتاج الأمر الى تجهيز الأطراف ويكون سلك الحشو ضئيلا بسبب اقتراب طرفى الوصلة حتى تلامسهما ويحرك اللهب حركة نصف دائرية لتحقيق انصهار طرفى الوصلة بقدر كاف .

أما فى حالة اللحام الرأسى هبوطا فإن ذلك يحتاج الى مران وخبرة بعض الشيء مع اختيار دقيق لمقاس منفث بورى اللحام وقطر سلك الحشو وذلك لا مكان تجنب سقوط المنصهر بتأثير الجاذبية الأرضية .

لحام السقف Overhead Welding شكل (1 - 45) .

يعتمد نجاح اللحام فى هذا الوضع على مهارة العامل واختيار سليم لحجم اللهب وميل اللهب بزاوية كبيرة على مستوى الوصلة وتتركز مهارة العامل فى اللحام على الاحتفاظ بالمعدن المنصهر فى موقعه باستخدام اللهب (يقترب منه من الوضع العمودى على الوصلة) والاستفادة بخاصية الشد السطحي للمنصهر الذى يشد قطرات المنصهر إلى الوصلة



شكل (1 - 45)

ضد الجاذبية الأرضية ومن البديهي أن يحاول العامل عدم تكوين قطرات منصهر كبيرة حتى لا يتغلب وزنها على الشد السطحي فقط

وتنشأ صعوبة قصوى عند محاولة الحصول على نفاذ عميق للحام أمام محاولات الاسراع بالحام حتى لا يتساقط المنصهر إلا أنه بالاختيار السليم لمقاس منفث البورى وكذا لك قطر سلك الحشو وعدد المسارات يمكن التغلب على هذه الصعوبة .
ومن البديهي أن يختار بورى اللحام خفيف الوزن إذا أريد إجراء لحامات طويلة حتى لا يصيب التعب عامل اللحام فى هذا العمل المضى .

طريقة لندا للحام

ابتكرت هذه الطريقة شركة لندا الأمريكية للحام . وأساس هذه الطريقة مبنى على المبادئ الآتية :

- عند تسخين الصلب فى وجود الكربون نجد أن الكربون يتولى اختزال الأكسيد الموجود فى الحديد بالاتحاد معه وترك الحديد يكاد يكون نقيا وفى نفس الوقت يمتص الحديد قدرا كبيرا من الكربون الموجود فيصبح سطحه غنيا به .

- تنخفض درجة حرارة انصهار الحديد بزيادة نسبة الكربون به (أنظر مخطط الاتزان الحرارى للحديد - الكربون)

ولذلك يستخدم لهب أكسى أستلين فقيرا فى الأكسجين أى غنيا بالأستلين (لهب مختزل) ويستخدم سلك حشو خاص فيتيح ذلك إنجاز لحام سليم بسرعة عالية . وتستخدم هذه الطريقة بصفة خاصة فى لحام شبكات الأنابيب فى الأوضاع الجانبية . (الرأسية) هبوطا .

لحام حديد الزهر بـلهب الأكسى أستلين

إن قصفة (هشاشة) حديد الزهر لتشكل الصعوبة الرئيسية فى لحامه إذ أن هذه الصعوبة ليست موجودة فى لحام الصلب .

ومن المعروف أن حديد الزهر الرمادى يعتبر أكثر متانة وجودة فى خواصه الميكانيكية عن حديد الزهر الأبيض بسبب انفصال الجرافيت فى الأول أثناء تجمده ببطء . وكذا لك يتصف حديد الزهر بارتفاع نسبة السليكون والمنجنيز والكبريت والفسفور .

ويمثل السليكون عنصرا هاما في المساعدة على انفصال الجرافيت من ثم تحويله إلى حديد زهر رمادي (طرى نسبيا) بينما يقوم المنجنيز بتصليد الحديد والاتحاد مع الكبريت فيقلل نسبته في الحديد ويمنع تكون كبريتيدات صلبة وقصفة . أما الفسفور فهو يساعد على جعل منصهر حديد الزهر سيلا إلا أنه يزيد من قصفة الحديد . وعلى هذا الأساس يكون هدف عامل اللحام تكوين حديد زهر رمادي في موقع الوصلة يقلل قصفة ومن ثم يقل تعرض الوصلة للتشريح .

وتقتصر عمليات لحام حديد الزهر في الحياة العملية علي عمليات الإصلاح للشروخ أو الفجوات دون محاولة إنشاء تركيبات من أجزاء الزهر على عكس الحال في الصلب .

ولما كان تسخين حديد الزهر في موقع شرخ أو عيب يعرضه لتطور الشرخ بسبب التمدد الحراري وقصفة الحديد فإنه يفضل عمل ثقب بالمثقاب عند نهايتي الشرخ لمنعه من التطور عند التسخين ثم تشغل فجوة على شكل حرف V بزاوية 90° على طول الشرخ أو في موقع اللحام وذلك من وجه واحد إذا كانت الشخانة لا تتجاوز 10 mm ومن الوجهين إذا تجاوزت الشخانة هذه الحدود .

ويفضل في كل الأحوال تسخين الجزء المطلوب لحامه بكامله تسخيناً أولياً يصل إلى نحو $600 - 650^\circ\text{C}$ (في فرن مثلاً) وذلك لتقليل تركيز الاجهادات الحرارية التي تنشأ من التسخين الموضعي عند موقع اللحام وليساعد ذلك على خفض معدل التبريد بعد الانتهاء من عملية اللحام فلا يتعرض الجزء للتشريح مرة أخرى ولمنع تكوين طبقات من حديد الزهر الأبيض بعد ذلك فيما لو حدث تبريد سريع لحديد الزهر

ويستخدم في اللحام بوري لهب متعاد ل ويجب الحذر الشديد بتجنب استخدام أي فائض أكسجين في اللهب حتى لا يتسبب ذلك في تكوين مواقع ضعيفه نتيجة للأكسدة والمبالغة في التسخين ويجب أن يبعد المخروط الداخلي (الأزرق) للهب بمقدار 3 - 4 mm من موقع اللهب لأنه لو لمس البركة المنصهرة لنشأت مواقع صلبة ويمكن استخدام مساعد صهر Flux من بلورات قلوية لاذابة الأكاسيد ومنع الأكسدة من جراء تكوين طبقة خبث طافية على السطح تمنع تدخل الهواء وأكسدة الحديد المنصهر . ويستخدم بجانب ذلك أسياخ حشو من حديد غنى بالسليكون ليساعد على انفصال الجرافيت

فى فجوة اللحام فتكتسب متانة وتقل قصافتها .

ويختار اللحام نحو اليسار ويبدأ بغمس سيخ الحشو بعد تسخينه فى مساعد الصهر ليعلق به فيبدأ مفعوله فور ملاسته لبركة المنصهر فيختزلها من الأكاسيد فيسهل سريانها ولا يجوز الإفراط فى استعمال مساعد الصهر لأن ذلك ينتج فجوات ومسام فى د رزة اللحام ويستخد م سلك اللحشو للمساعدة على إزاحة جزء كبير من الخبث السطحي يد ويا أثناء ممارسة عملية اللحام . ولا يمارس البورى إلا حركة ضئيلة أثناء اللحام مع حركة تقليب بواسطة السيخ لمنع احتواء الخبث فى داخل المنصهر . ويجب الحرص على أن يتم تبريد المشغولة ببطء شديد إما باستخدام اللهب أو وضعها فى رماد أو كوك أو حجر جبرى ساخن .

اللحام بالأكسى أستلين بالسبائك الصلدة والبرونز

Braze and Bronze Welding

أولا : حديد الزهر

تشبه هذه الطريقة إلى حد كبير اللحام بالسبائك الصهيرة الصلدة (المونة) إلا أنها تختلف عنها بكون أن المعدن الأصلي يصيبه انصهار جزئى على السطح وتختلف هذه الطريقة عن لحام الصهر المعتاد بكون سلك الحشو ينصهر عند درجة حرارة أقل من انصهار المعدن الأصلي (شأنها فى ذلك شأن لحام المونة) وتستخدم فى هذا السبيل السبائك الغنية بالنحاس مثل النحاس الأصفر والبرونز الفسفورى والبرونز النيكلى ويجب إعداد أسطح حديد الزهر بمحاولة إزالة الجرافيت المنفصل إما بالطرق الكيميائية أو بالطرق الكهروكيميائية ثم استخدام مساعد صهر مكون من خليط الفلوريد القلوى واليوراكس ومن المعتاد أن تكسى أسياخ اللحام البرونزية بمساعد الصهر . ويتبع فى ذلك أسلوب التسخين الأولى كما فى لحام الصهر بقصد تقلييل الاجهادات الحرارية ويكتفى فى هذه الحالة بالتسخين حتى 450°C كما يراعى كذلك أن يكون التبريد شديد البطء . ويستخدم بـورى لحام مقاسه أصغر من المستخدم للأشغال المشابهة من الصلب بنحو مقاسين ويكون اللهب مؤكسدا بقدر ضئيل ويزاد هذا القدر إذا اقتضى الأمر عمل لحام من طبقتين أو أكثر (يكون طول المخروط الأزرق $\frac{3}{4}$ طول نظيره فى اللهب المتعاد ل) ويفضل اللحام نحو اليسار على أن يبعد طرف المخروط الأزرق عن بركة المنصهر قليلا .

ثانياً : الصلب

يستخدم لحم البرونز للصلب في غالب الأحيان لعمليات الإصلاح وفي الحالات التي يراد فيها تقليل التشويه الناشئ من الإفراط في التسخين في لحم الصهر المعتاد ، وتتبع نفس الارشادات المتبعة في لحم حديد الزهر ماعدا التسخين الأولي الذي يصبح غير ضروري .

ويمكن لحام الصاج المجلفن (المغطى بطبقة من الزنك) بهذه الطريقة والحصول على وصلات مقاومة للصدأ ودون الاضرار بطبقة الزنك المجلفنة للصلب والتي عادة ما تحترق في لحم الصهر المعتاد ويستخدم في هذه الحالة مساعد الصهر المستخدم في سبائك الفضة مع النحاس (المونة) ويمكن شطب (شطف) الألواح المجلفنة الشخينة بزاوية بين 60° ، 80° ثم تبنيطها للاحتفاظ بمواقعها وأبعادها المطلوبة ويختار بوري لحم صغير ويكون لهبه مؤكسدا قليلا ولا يمارس البوري أية حركة جانبية أثناء اللحام بل يركز على سير الحشو حتى يمكن تجنب الإفراط في تسخين طرفي الوصلة .

ثالثاً : النحاس

يمكن لحام النحاس النقي (الأحمر) بهذه الطريقة إذ أن سبائك النحاس ومنها البرونز تكون درجة انصهارها أقل من النحاس نفسه وتستخدم هذه الطريقة في المعتاد في لحام أنابيب النحاس بأعداد أطرافها بشكل ناقوس ومخروط لتتداخل ويكون اللهب في هذه الحالة أيضاً مؤكسدا قليلا ويستخدم مساعد الصهر الخاص بالبرونز .

رابعاً : النحاس الأصفر

لما كان سيخ اللحام ينصهر عند درجة حرارة النحاس الأصفر تقريبا فإننا يمكن أن نعود إلى تسمية هذه الحالة الخاصة بلحام الصهر المعتاد ويستخدم في هذا اللحام لهب مؤكسد يتسبب في تكوين طبقة من أكسيد الزنك تطفو على سطح بركة المنصهر وتحميها من تطور الأكسدة والتبخر . وبشكل طرفا الوصلة على شكل حرف (V) بزاوية 90° ويستخدم مساعد صهر في صورة معجون أو بغمس سيخ الحشو البرونزي بعد تسخينه في مسحوق مساعد الصهر إذا لم

تستخدم أسياخ برونز مكسوة بمساعد الصهر . ولتجنب تكوين فقاعات ومسام في اللحام يحسن أن يبدأ اللحام باستخدام لهب متعاد ل حتى تبدأ ظهور أدخنة أكسيد الزنك بعد تكوين أول بركة منصهر حيث تبدأ في خفض مقدار غاز الأستلين ليصبح اللهب مؤكسدا حتى تنقشع الأدخنة وإذا لوحظت فقاعات أو مسام في درزة اللحام فتتخفض نسبة الأستلين (حتى يصل طول المخروط إلى طول اللهب المتعاد ل) ولا يجوز الإفراط في جعل اللهب مؤكسدا عن هذا الحد حتى لا تتكون طبقة خثينة من أكسيد الزنك على البركة وتجعلها أقل سيولة ، ويمكن تحسين الخواص الميكانيكية للوصلة بالطرق عليها على البارد .

خامسا - برونز الألومنيوم (سبيكة نحاس تحتوى على ألومنيوم بين 5 ، 19 %)

ويستخدم في لحامه سلك حشو من برونز الألومنيوم الذى يحتوى على 10 % ألومنيوم ———وم
وهناك سلك حشو آخر من برونز المنجنيز والذى يصلح أيضا للحام النحاس النقي والصلب السبائكي حينما يتوخى الحصول على مقاومة للصدات والكلل ومقاومة الصدأ فى ماء البحر ويستخدم مساعد صهر خاص للحام برونز الألومنيوم .
تجهز الوصلة بشكل حرف (V) للثخانات التى تزيد عن 4,8 mm حتى 16 mm وما يزيد عن ذلك تجهز بحرف (X) ولا يجوز ربط طرفي الوصلة بقوامط أثناء اللحام حتى لا يتسبب ذلك فى خلق شروخ فى اللحام . ويستخدم اللهب المتعاد ل ويجب تجنب أى فائض أستلين لأنه ينتج هيدروجين يحدث مسام فى اللحام ومن ناحية أخرى فإن أى فائض أكسجين يسبب أكسدة ويختار سلك حشو قطره يزيد بنحو 0,8 mm عن ثخانة الشغلة . ويتبع أسلوب اللحام نحو اليسار بحيث يميل البورى بزاوية 80° عند البدء تنخفض بعد ذلك إلى نحو 65° ويجب تسخين الوصلة تسخيناً أولياً لإمكان تجنب الشروخ ويمارس السخى حركة كشط لتنظيف بركة المنصهر والتخلص من الغازات المحتبسة .
ويحسن معالجة الوصلة حرارياً بعد انتهاء اللحام وذلك لإزالة الاجهادات الحرارية المتبقية .

سادسا : الألومنيوم :

لا يشكل لحام الألومنيوم أو سبائكه صعوبة تذكر بواسطة لهب الأكسـيـ أستلين إذا وعى العامل المشكلة التى تصادفه ألا وهى أكسيد الألومنيوم إذ أنه أكسيد راسخ مستقر يصعب اختزاله أو صهره رغم أنه يكـ فى صورة طبقة رقيقة جدا وإذا لم يتم التخلص من هذه الطبقة فإنها تتوزع وتحتوى فى اللحام الأمر الذى يضعف الوصلة ويجعلها قصيفة ونحتاج فى هذا الصدد إلى مساعد صهر ينصهر عند درجة 570°C أى دون درجة حرارة انصهار سبيكة الألومنيوم فيتولى مساعد الصهر إذابة الأكسيد ويمنع تكونه . ويبدأ العمل بالتنظيف الأولى للوصلـه للتخلص من الشحوم أو الدهون أو الزيوت . ثم تكشط الأطراف بفرشـة سلك ويمكن الاستغناء عن سلك الحشو فى الألواح الرقيقة بعد ثنىـ أطرافها لتحشو نفسها بنفسها . ويستخدم لهب مختزل (فائض أستلين) فى بادىء الأمر ثم يتحول الى اللهب المتعادل .

ويستخدم سلك حشو من الألومنيوم + 5 % سليكون عند لحام الألومنيوم النقى مع استخدام مساعد صهر لحام الألومنيوم ويكون مـ البورى بنحو 45° وسيخ الحشو بنحو 35° وتستخدم طريقة اللحام نحو اليسار مع الاحتفاظ بالمخروط الأزرق بعيدا بعض الشئـ عن بركة المنصهر .

ويجب الحرص على إزالة كل بقايا مساعد الصهر بعد اللحام بالغسيل والكشط حتى لا تكون البقايا مصدرا مشجعا للتآكل (يستخدم محلول حامض نيتريك 5 %) ويمكن تحسين الخواص الميكانيكية بطـرق درزه اللحام على البارد .

تكسية الأسطح بطبقات صلبة Hard Surfacing

يتعرض كثير من الأجزاء الميكانيكية للبرى (التآكل) بسبب الاحتكاك وتقل أبعادها مما يؤثر على جودة أدائها ومن ثم يحتاج الأمر إلى تغييرها بأجزاء أخرى جديدة بعد فترة تشغيل معينه . وكثيرا ما تكون هذه الأجزاء كبيرة ومعقدة الشكل بحيث يشكل تغييرها

عبثا ماليا يمكن تجنبه لو أمكن تجديد القطع البالية وتعزيز أسطحها بأسطح جديدة صلبة بدلا من الأسطح البالية . وفي أحيان أخرى تحتاج اقتصاديات ومتطلبات التصميم إنتاج أجزاء من مادة متينة أولدنة على أن يكون سطحها صلبا يقاوم البرى لأنها تتعرض للاحتكاك كل ذلك أدى الى التفكير فى تغطية بعض الأسطح بطبقات صلبة .

ويمكن فى هذا السبيل استخدام لهب الأكسى أستلين فى تغطية الأسطح بهذه الطبقات الصلبة أو فى بعض الأحيان بطبقات مقاومة للتآكل التى تتطلبها ظروف التشغيل وقد تختار طبقة الكسوة بحيث تقبل التشغيل عقب ترسيبها على سطح الشغلة ثم تصليد هذه الطبقة بعد تشغيلها بالمعاملة الحرارية أو التشكيل على البارد (كالد لفنسة أو الرجم) .

ويمكن تقسيم أنواع التغطية إلى ثلاثة أنواع رئيسية :

أولا :

التغطية بنفس مادة السطح المطلوب تجديده كالصلب الطبقى والمتوسط فى حالة العجلات المصنعة (التروس) والأعمدة ومجارى الخوابير المنزلقة ويتبع فى هذا النوع من التغطية أسلوب لحام الصلب نحو اليسار مع اختيار التغطية بطبقة رقيقة فى المرة الواحدة . وتكرر تراكم الطبقات حتى نصل إلى شخانة التغطية المطلوبة مع محاولة تجنب تشوه الشغلة من جراء التسخين الموضعى وذلك بتسخين الجزء كله تسخيناً أولياً والحرص على أن يكون التبريد شديداً البطء .

ثانيا :

التغطية بأسياخ ذات صلادة أعلى من معدن المشغولة بكونها مرتفعة مثلاً فى نسبة الكربون والمنجنيز والكروم والسيلكون بهدف اكساب السطح صلادة أعلى أو مقاومة للبرى أو التآكل . ولمّا كانت الكسوة السطحية تختلف فى تركيبها عند السطح عن مادته فإن التغطية بالتغليف المعروفة والتى تعتمد على الانتشار لا تصلح فى هذه الحالة بسبب تسابك الكسوة مع المعدن الأصلي وممن ثم فقدان خاصيتها المشدودة (الصلادة أو مقاومة البرى أو التآكل) .

ثالثا :

التكسية بطبقة صلبة مثل كربيد التنجستن فيتكون سلك الحشو من أنبوب من الصلب محشو بمسحوق (مجروش) كربيد التنجستن ذي الصلادة العالية $HV = 1800$ بينما تكون الشغللة في حدود $HV = 850$ وفي هذه الطريقة لا تحتاج الكسوة إلى تصليد إضافي بالمعاملة الحرارية أو أى وسيلة أخرى لأن صلابتها طبيعية وعالية بقدر يحقق الهدف المنشود .

طريقة العمل

يضبط اللهب بحيث يصبح مختزلا (به فائض أستلين ويكون طول المخروط الأبيض للهب ضعف أو ضعف ونصف طول المخروط الأزرق) . وكما سبق شرحه فإن السطح المسخن باللهب سيمتص كربونا من اللهب ومن ثم تنخفض درجة حرارة انصهاره وتنصهر هذه الطبقة الرقيقة فيما يشبه بالعرق حينئذ يصهر سيخ الكسوة حيث يندمج كلا المنصهرين وينشأ في النهاية بعد التجمد طبقة كسوة مرتبطة ارتباطا وثيقا مع السطح المكسو وذلك دون أن يحدث تسابك إلى عمق يذكر .

ويتصف هذا النوع من التكسية بخواص مقاومة البرى والمثانة المرتفعة وغالبا ما يصعب تشغيل هذه الطبقة بالمخرطة أو بالقشطة ، فقط يمكن إجراء التشغيل بالتجليخ إلى الأبعاد النهائية وبالجودة السطحية المطلوبة . وفى بعض الأحيان يجرى تشكيل هذه الطبقة بطرقها وهى ساخنة حتى تقترب من الأبعاد المطلوبة ثم تجلخ إلى الأبعاد النهائية وهذا يحدث فى الأجزاء التى تتعرض للبرى الشديد والصدات مثل الخطوط الحديدية وتقاطعاتها .

وعند استخدام أسياخ كربيد التنجستن فى التكسية فإنه يجب محاولة التخلص من الغازات المتولدة فى المنصهر سواء على سطح التكسية أو من سيخ الكسوة ويمكن انجاز ذلك بتحريك اللهب ومن ثم نحصل على سطح مكسو خال من المسام .

ويمكن تكسية أسطح حديد الزهر بنفس الأسلوب وباستخدام أسياخ تكسية من حديد الزهر السليكونى واستخدام مساعد صهر . وبمجرد الانتهاء من التكسية بالثخانة المطلوبة بتقسية الجزء فى الزيت (أو الماء

حسب الثخانة (حتى يمكن التوصل الى الصلادة المطلوبة وتكون هذه الطبقة من حديد الزهر الأبيض المفرط فى الصلادة والتي يمكن تشغيلها بالتجليخ فقط وتتصف بجودة المقاومة للبرى .

وتصلح هذه الطريقة فى المقام الأول للأجزاء البسيطة فى شكلها والتي لا يصيبها التشوه من جراء التسخين مثل أعمدة الحدبات (الكامات) والبنوز وأجزاء المضخات .

ويمكن الاستعانة فى هذا المجال بالنحاس والكربون لتكوين الجزء الأكبر من التغطية ولتوفير وقت اللحام والتشغيل وكذلك مادة الكسوة الصلدة . ويلاحظ أنه عند تغطية حديد الزهر فان سطحه لا ينصهر (يعرق) ولذلك فإن اللهب المتعادل هو الذى يستخدم فى وضع الطبقة الأولى وهذه الطبقة هى التى يمكن أن تنصهر عند وضع الطبقة الثانية .

التغطية بسبيكة الاستليت Surfacing With Stellite

إن من المواد الناجحة فى التغطية والتي تقاوم البرى والتآكل هى سبيكة الاستليت والتي تتألف من الكوبلت والتنجستن مع الكربون ومن أهم مميزات احتفاظها بخواصها فى ظروف درجات الحرارة العالية إلا أنها خفيفة ومن ثم فإن التغطية بها على أسطح لدنة يعطى تركيبة جيدة ومتينة .

تغطية الصلب بالاستليت

ينظف السطح من مكونات التآكل والصدأ والقاذورات ثم يسخن تسخيناً أولياً بطيئاً لما لذلك من أهمية كبيرة الأمر الذى يعتبر مهماً شأنه شأن التبريد البطئ لتجنب التعرض للتشقق .

ويحاط لهب الأكسى أستلين بمنفث ماء على الجانبين لتقليل انتشار الحرارة وبالتالي تقليل تشوه الجزء المطلوب تغطية ويختار لهب مختزل (غنى بالأستلين حيث يكون طول اللهب الأبيض من 2 إلى $2 - \frac{1}{2}$ مرة طول اللهب الأزرق) إذ أن قلة الأستلين تسبب تحول الأستليت

المنصهر إلى الشكل الرغوى الملىء بالفقايع ومن ثم الفجوات عنـد التجعد بينما يؤدي الإفراط في الأستلين عن هذه الحد ود إلى ترسيب الكربون حول المعدن المنصهر .

وتختار أسياخ أستليت للتكسية بقطر 5 mm للأشغال الصغيرة ويزيد القطر في الأشغال الكبيرة . ويسلط اللهب على السطح المطلوب تكسيته دون أن يلمس المخروط الأزرق سطح التكسية على أن يكون ميل البورى والسيخ على سطح التكسية بنحو 30° وعند ملاحظة بدء الانصهار الجزئى للسطح (العرق) يوضـع السيخ فى اللهب حيث تندمج القطرات المنصهرة منه على السطح . وبعد الانتهاء يترك الجزء ليبرد بالبطء الشديد .

تكسية حديد الزهر بالاستليت

ينظف السطح كما فى الصلب ويستخدم ذات السيخ واللهب المستخدم فى الصلب ويحسن البدء بطبقة تكسية رقيقة كأرضية ثم يتبع ذلك الطبقة الثانية للتكسية حتى الثخانة المطلوبة (السبب فى ذلك هو منع طبقة حديد الزهر من الانصهار الكلى والانتشار فى كسوة الاستليت) ويحرك اللهب على سطح الحديد الزهر مع استخدام السيخ لازالة القشور المتكونة وذلك قبل أن ينصهر طرف السيخ وتسقط منه قطرات تبلل السطح ويستخدم مساعد صهر لاذابة الأكاسيد ومنع تكونها أثناء عملية التكسية .

معالجة كسوة الأستليت حراريا

- الأجزاء الصغيرة من الصلب اللدن حتى $C \ 0,4\%$ يسخن السطح أوليا باللهب ثم يكسى ويترك ليبرد ببطء بعيدا عن تيار الهواء .
- الأجزاء الكبيرة من الصلب السابق والأجزاء الصغيرة للصلب الغنى بالكربون والصلب السبائكى - يسخن السطح أوليا باللهب حتى $250^\circ C - 350^\circ C$ ثم يكسى السطح مع الاحتفاظ به عند هذه الدرجة بمساعدة لهب إضافي ثم الحرص على التبريد المتناهي البطء (بالدفن فى الحصى أو مسحوق الميكا أو الجير أو الرمل أو التراب)

- الأجزاء الكبيرة من الصلب الغنى بالكربون والصلب السبائكي وحديد الزهر وكذلك الكتل الكبيرة من الصلب فقيرة ومتوسطة الكربون ذات الأسطح الكبيرة للكسوة .

يسخن السطح تسخيناً أولياً حتى درجة 400 - 500 °C ثم يكسى السطح مع الاحتفاظ به عند هذه الدرجة وبعد الانتهاء يسخن إلى درجة حرارة 600 °C ثم يتم التبريد بمنتهى البطء

- الصلب الذى يصلد فى الهواء مثل صلب السرعات العالية HSS عند الحاجة الى تكسية مساحات صغيرة فقط والصلب المقاوم للصدأ 18 / 8 (8 % Ni + 18 % Cr) غير قابل للتصليد بالمعاملات الحرارية . يسخن السطح تسخيناً أولياً إلى 600 - 650 °C وتتم التوكسية عند هذه الدرجة . ثم يوضع الجزء فى فرن عند 650 °C لنصف ساعة ويتم التبريد فى الفرن ليتم ببطء

التكسية بالرش

يمكن إجراء التكسية برش مسحوق الاستليت ذى الصلادة العالية (HV 425 - 750) أو مسحوق النيكل (HV 375-750) ثم يتم صهر هذه الطبقة المرشوشة باستخدام لهب الأكسى أستلين ويمكن بهذه الطريقة التكسية بطبقة يصل عمقها إلى نحو 2 mm دون أن يتأثر تركيبها بالمعدن الأصلية وتكون المساحيق المستخدمة فى هذا المجال ذاتية المساعدة على الصهر . ويجب تجنب رش الأسطح ذات الأركان الحادة والتغيرات المفاجئة فى المقاطع مع تجهيز الأسطح قبل الرش بتخشينها بالخرطة الخشنة ثم بقذفها بالرمل للحصول على سطح خشن بالقدر الكافى لیساعد على التصاق المسحوق المرشوش عليه . ويستخدم للرش مسدسات خاصة (معدة خاصة لرش مساحيق النيكل والكوبلت) تستخدم الهواء المضغوط الذى يدفع المسحوق خلال لهب الأكسى أستلين الذى يتولى بدوره تسخين المسحوق إلى درجة حرارة تلدنة والاندفاع به إلى سطح الرش حيث تصطدم حبيبات المسحوق بالسطح وهى فى حالة تعجن فتتشكل بتأثير الصدمة وتلتصق بالسطح . ويحسن تشغيل المشغولات الكبيرة تسخيناً أولياً لآمكان تحقيق التصاق

المسحوق بها ويحتفظ بفوهة مسدس الرش على بعد يبلغ نحو 150 mm من سطح الرش لإمكان انتظام التوزيع وعدم تركيزه في بقع محددة وبعد اتمام الرش نجد أن المسحوق يبدو بشكل مسامي وتأتي المرحلة الثانية وهي صهر الطبقة المرشوشة لتحويلها إلى طبقة جامدة متصلة مقاومة للبرى ومرتبطة جيداً بالسطح الأصلي ويجب أن تتم عملية الصهر فور الانتهاء من عملية الرش لتقليل الاجهادات الناشئة من التغيرات الحرارية ويتحقق ذلك الصهر باستخدام بوري خاص متعدد فوهات اللهب بالتسخين أولاً إلى 350°C للجزء كله ثم اختيار منطقة محددة وتسخينها إلى $700 - 800^{\circ}\text{C}$ ثم يسخن جزء منها لدرجة 1100°C ويحافظ على ذلك حتى يبدو السطح لامعاً منبسطاً ببدء انصهار هذه المنطقة فيحرك اللهب على طول المساحة تدريجياً حتى ينتشر المنصهر على السطح كله . ثم يغطي الجزء بمادة عازلة للحرارة للمحافظة على التبريد البطيء ويجب أن يدخل في الحساب أن عملية صهر المسحوق يترتب عليها تشويه في الجزء المرشوش يصل إلى نحو 25 % من ثخائنه لذلك يجب إضافة هذا القدر في التكمية ليتمكن تسويته أثناء عملية التجليخ .

القطع بلهب الأكسي أستلين

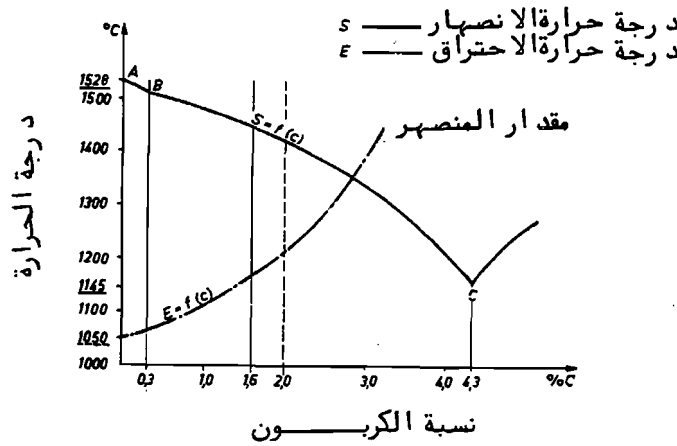
تعتمد عملية القطع بلهب الأكسي أستلين على أكسدة المعدن في مكان القطع بمعدل كبير حيث تنفصل الأكاسيد في صورة برادة أكسيد متناثرة في صورة شرر (المعدن المحترق) ويجدر بنا في الشأن تصحيح الخطأ الشائع عند البعض من أن عملية القطع باللهب هي عملية صهر في موقع القطع . كلا أنها عملية أكسدة بحتة . وتتم باستخدام بوري خاص للقطع يشبه بوري اللحام في كونه متصلاً بغازي الأكسجين والأستلين اللذين يختلطا داخله ويخرجا من فوهته خليطاً بالنسبة الصحيحة للاشعال ويضاف إلى ذلك وصلة إضافية لغاز الأكسجين يخرج من منفث إضافي في فوهة البوري وهذا الأكسجين الإضافي الأخير هو الذي يتولى أكسدة المعدن بعد تسخينه إلى درجة حرارة مرتفعة دون درجة حرارة الانصهار وكذلك يتولى نفاث الأكسيد المنصهر ونزعه من موقعه . ويجب أن تتوفر الشروط التالية في المعدن المراد قطعه :

- أن يتحد المعدن مع الأكسجين أي أن يكون قابلاً للاحتراق
- أن تكون درجة احتراق (أكسدة) المعدن دون درجة انصهاره .

- أن تكون الحرارة المتولدة من الاحتراق كبيرة قدر الامكان .
- أن تكون درجة حرارة انصهار أكسيد المعدن أقل من درجة حرارة انصهار المعدن ذاته .
- أن لا تكون قابلية المعدن لتوصيل الحرارة كبيرة .

وعلى ضوء هذه المبادئ ويتأمل كُـلُّ من الحديد والنحاس والألمنيوم نجد أن الحديد هو الوحيد بين هذه المعادن الذي تنطبق عليه هذه الشروط أما النحاس فإنه لا يوفى بالشرطين الثاني والخامس وكذلك الألمنيوم لا يوفى بالشروط الثاني والرابع والخامس .

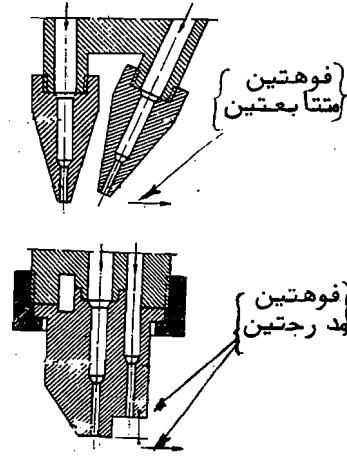
وإذا تجاوزت نسبة الكربون في الحديد 2 % (مثل حديد الزهر) فإنه لا يوفى بالشرط الثاني وعند تجاوز نسبة الكروم في الحديد 1,5 % والسليكون 4 % فإنها تكون أكاسيد صعبة الانصهار ومن ثم لا توفى بالشرط الرابع . ويوضح شكل (1 - 58) تأثير نسبة الكربون على درجة حرارة انصهار الحديد وعلى درجة حرارة احتراق الحديد ومنه يتضح أن الحديد الذي تصل فيه نسبة الكربون إلى 2 % (نظريا) يصعب قطعه (عمليا 1,6 %)



شكل (1 - 58)

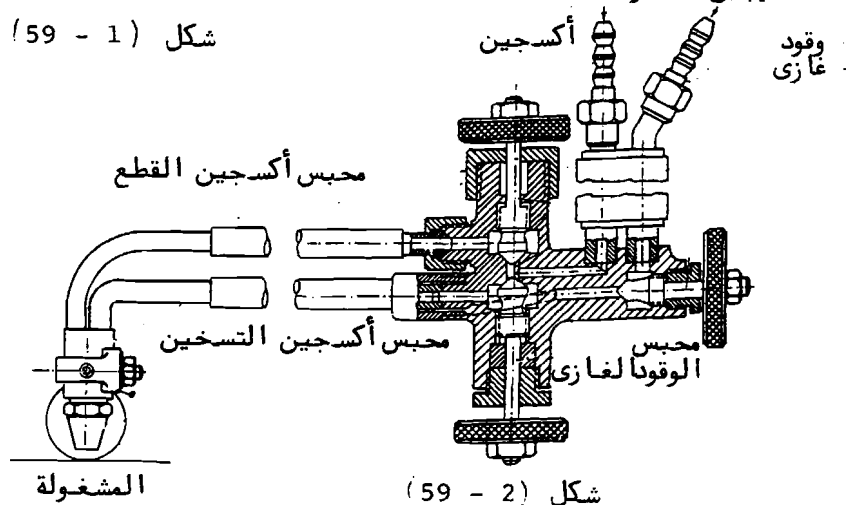
بورى القطع

يوضح شكل (2 - 59) رسماً تخطيطياً لتركيب بورى القطع أما شكل (1 - 60) فيوضح مقطعا فى بورى قطع ونرى من الشكلين



شكل (1 - 59)

أن الأكسجين والأستلين يدخلان إلى البورى عن طريق الخراطيم — الاسطوانات ويتفرع غاز الأكسجين إلى فرعين الأول يدخل البورى ليختلط بالأستلين حيث يخرج معه فى خليط من فوهته ليكونا لهب التسخين ، أما الفرع الثانى للأكسجين فيذهب مباشرة إلى فوهة البورى ليخرج منه من منفث خاص . ويوضح شكل (1 - 59) الأنواع المختلفة لمخارج كل من خليط الأكسجين والأستلين وغاز الأكسجين المنفرد .

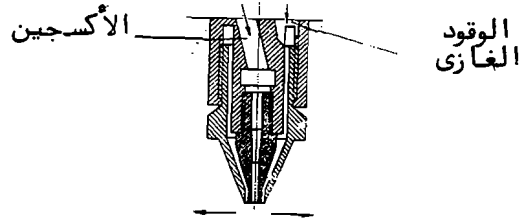


شكل (2 - 59)

ويخرج أكسجين القطع إما من فوهة منفصلة خلف لهب التسخين أو من منفث فى مركز المخرج الحلقى لخليط الأكسجين والأستلين الخاص بالتسخين

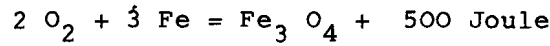
تكنولوجيا القطع

اُبتكرت طريقة القطع في أول الأمر لقطع الصلب . وبما أن الصلب وكل سبائك الحديد تحتوي في كل أنواعها على نسبة حديد لا تقل عن 95 % وهذا الحديد يتأكسد بعنف إذا سخن إلى درجة حرارة 1100°C في جو من الأكسجين



شكل (1 - 60)

طبقة للتفاعل التالي



وتكفي هذه الحرارة المتولدة من التفاعل في ذاتها لتحويل أكسيد الحديد $\text{Fe}_3 \text{O}_4$ إلى الحالة المنصهرة كل ذلك دون أن ينصهر الحديد . وعند ما يمر غاز الأكسجين على هذا الأكسيد المنصهر فإنه يكتسحه معه ويخرجه على هيئة شرر وهاج (حديد محترق) .

وتبدأ عملية القطع بتسخين بقعة عند بداية خط القطع وذلك بلمس الأكسي أستلين إلى درجة حرارة $1100 - 1200^{\circ}\text{C}$ (أحمر فاتح) وعند الوصول إلى هذه الدرجة يفتح صمام الأكسجين الإضافي الخاص بالقطع ليخرج من منفثه ليتولى عملية أكسدة البقعة الساخنة (ضغط الأكسجين 3,5 ضغط جوى) وينشأ ثقب يخترق المعدن يخرج من ناحيته الأخرى شرر (حديد محترق) ويكون هـذا الحديد المحترق في درجة حرارة عالية بحيث يتولى تسخين الطبقة

المحيطة به وعند تحريك بوري القطع في اتجاه خط القطع المطلوب نجد أن اللهب والأكسيد المتولد المحترق يتوليان تسخين الطبقة المتقدمة ويأتي أكسجين القطع فيتولى أكسدها (حرقها) وهكذا يستمر القطع . ونجد أن شخانة فجوة القطع الذي يشكلها بوري القطع تكون متساوية على مدى عمق القطع . وتعتمد سرعة القطع هنا على شخانة الجزء المطلوب قطعه ومادته وعلى مدى نقاء غاز الأكسجين . وعند محاولة قطع حديد الزهر بهذه الطريقة نجد أن الأكسجين يؤكسد الكربون الموجود به قبل أن يتولى أكسدة الحديد فتختلط غازات أول وثاني أكسيد الكربون المتولدة فيخف تأثير أكسده إلى درجة يتوقف عندها القطع .

ومن ثم فإن حديد الزهر لا يمكن قطعه بمبدأ أكسدة حديد الصلب إنما يمكن قطع حديد الزهر بمبدأ آخر وهو صهره أي صهر فجوة يستمر تطورها دون الاعتماد على التأكسد .

كما أنه يصعب قطع الصلب السبائكي الغني بلهب الأكسي أستلين المعتاد بسبب عناصر التسابك الموجودة به . فالحرارة اللازمة لتأكسد النيكل أحد عناصر التسابك أقل من تلك اللازمة للحديد أما الكروم وهو عنصر تسابك هام ورئيسي في الصلب السبائكي فإن الحرارة اللازمة لتأكسده تكون أعلى من الحديد ومن ثم فهو يكون مع الحديد أكاسيد غير منصهرة (خبث صلد) وعلى نفس النمط يسلك كل من الموليبدنيم والتنجستن . ولذلك فإن الصلب الذي تزيد فيه عناصر التسابك هذه عن 5 إلى 15 % لا يمكن قطعه بلهب الأكسي أستلين المعتاد بسبب الخبث المتكون .

إلا أنه يمكن بإضافة مسحوق الحديد أو مسحوق مساعد صهر نفثها مع أكسجين القطع .

فيحترق مسحوق الحديد ويمد موقع القطع بالحرارة الإضافية اللازمة لصهر الخبث ويمكن بهذه الطريقة قطع النحاس وسبائك النيكل أما في حالة مسحوق مساعد الصهر فإنه يتولى خفض درجة حرارة انصهار الخبث المتكون وهو لذلك أكثر شيوعا .

هذا ويمكن استخدام بوري القطع مع شيء من التعديل فيه ففى عمليات أخرى غير عمليات القطع مثل تكوين قنوات أو فجوات غير نافذة

باستخدام أكسجين ذى ضغط منخفض وتصرف كبير لإزالة طبقات المعدن مثل عمليات التشغيل. مثال ذلك تكوين فجوات لإزالة عيوب في قوالب الصلب بعد صبها وقبل دلفنتها وإزالة اللحامات المعيبة لإعادة لحامها لحاماً سليماً ، وإزالة التواءات الزائدة فى مسبوكات الصلب. وكذا لك يمكن تركيب بورى القطع المذكور فى ماكينات التشغيل (المخارط ، والمقاشط) لنزع طبقات كبيرة من المعدن فى عمليات أولية اقتصادية لوقت تشغيل المشغولات الكبيرة .

وتجرى معظم عمليات القطع فى الصناعة لقطع أشكال منتظمة أو غير منتظمة من ألواح مختلفة الشخانات وقد يحتاج الأمر إنتاج غزير لقطع معقدة الشكل وفى هذا الشأن تستخدم مكينات قطع خاصة تستطيع أن تقود لهب القطع فى مسار خط معين طبقاً لطبعة معينة يتقيد بها الجهاز الذى يتيح للهب حركة فى اتجاهين x , y طبقاً لرسم معين وهو الجهاز المعروف باسم بانتوجراف Pantograph وهى نقل الرسم إلى حركة إما مطابقة أو مصغرة أو مكبرة يمكن تغييرها على الجهاز .

عمليات اللحام والقطع تحت الماء

Underwater Welding and Cutting

قد يقتضى الأمر فى بعض الأحيان إجراء عمليات لحام للإصلاح أو تركيب أجزاء معينة مثل خطوط الأنابيب وملحقاتها والسفن الغارقة تحت سطح الماء ولأعماق كبيرة كما قد يحتاج الأمر إجراء عمليات قطع لأسباب عديدة تحت الماء .

ولا مكان إدراك كيفية انجاز ذلك بلهب الأكسى أستلين لا يجب أن يفهم أن النزول بلهب الأكسى أستلين تحت سطح الماء سيقترتب عليه انطفاءه فاللهب سيستمد وقوده وأكسجينه من الأسطوانات مستقلاً عن الجو ولذلك فاللهب سوف يستمر فى الاشتعال طالما لم يترتب على الهبوط إلى عمق معين ازدياد ضغط الماء (دافع العمق) عن ضغط خروج غازى الأكسجين والأستلين من فوهة البورى . ولهذا السبب يزداد ضغط الغازين كلما كان الهبوط إلى الأعماق كبيراً . وقد يشعل البورى قبل الهبوط تحت سطح الماء أو بعده .

ولا تصلح بوارى اللحم أو بوارى القطع المعتادة والمستخدمه فوق سطح الماء للعمل تحت سطح الماء بسبب التأثير التبريدى للماء لذلك تضاف وصلة إلى البورى لنفث هواء مضغوط حول اللهب لابعاد الماء عن منطقة العمل . ويستخدم الأسطيلين كوقود حتى عمق أقصاه 8 m لا يمكن بعده زيادة ضغط الأسطيلين الواصل إلى البورى لدواعى الأمان (تعرض الغاز للتحلل تحت الضغط وقد بدأ استخدام الأيدروجين كوقود فى الأعماق التى تتجاوز ذلك الحد إلى 1400 m

يعتمد نجاح عملية اللحم والقطع على عملية الغطس تحت الماء ومدى تأمينها وخلق الجو الملائم ليمارس الغطاس الذى هو فى نفس الوقت عامل اللحم مهمته وذلك بمساعدة الأجهزة الملائمة . مثل الإضاءة الكافية للرؤية الجديدة ، مع تجنب أوقات المد والجزر والتيارات المائية وأوقات البرودة الزائدة .

ويتولى عملية اللحم أو القطع فنيون يتمنون على الغطس ويقومون به بمهارة وسهولة ويساعد هم فى ذلك فريق فى قارب يطفو على سطح الماء ومعهم فى القارب معظم المعدات اللازمة للحام مثل اسطوانات غازات اللحم والهواء المضغوط أو أجهزة التيار الشديـد ومعدات الأمان والتنفس والانتقال السريع .

ولا تسند عملية اللحم والقطع إلا لغطاسين معتمدين حاصلين على شهادات اعتماد بذلك مع مداومة عرضهم للكشف الطبى دورياً لضمان حالتهم الصحية وتقرير مدى تحملهم للعمل تحت الماء ولأعماق مختلفة .

ويرتدى الغطاس حلة غير منفذة للماء - عازلة للكهرباء - كما يجب أن يتعادل الضغط داخل هذه الحلة مع الضغط الداخلى لجسم الغطاس وكذلك مع الضغط الخارجى بالنسبة للأعماق الكبيرة تجنباً لحدوث أسفكسيا الخنق أو حدوث تآكل عظام الأفراد القائمين بالغطس واللحم .

كما أن من المشاكل التى يجابهها اللحامون ويجب تجنبها وجود غازات أو أبخرة قابلة للاشتعال أو الانفجار مثل الغازات الناتجة من احتراق زيت الوقود . إذا كان العمل يتم بالقرب من خزان وقود السفينة أو احتراق أطلية السفينة والذى ينتج عنه خروج غازات سامة أو خانقة أو مخدرة .

وفى كل الأحوال يتحتم على الغطاس عدم الوقوف بين القوس الكهربائي أو لهب بورى القطع وبين الشغلة تجنباً لخطر الاحتراق أو الماس الكهربائي. كما يجب عدم استخدام مقابض لحام أو قطع بدون وجود وسيلة اتصال سريعة مع الأفراد المساعدين على السطح .

ويمكن ايجاز تتابع خطوات العمل تحت الماء على هذا الأسس كما يلي :

- اختيار وتجهيز مكان الغطس .
- توزيع الاختصاصات على الغطاسين والمساعدين على السطح .
- اعداد حبل الغطس والأدوات اللازمة لانجاز العمل .
- ارتداء الحلة .
- انزال الغطاس ببطء الى العمق المطلوب .
- أداء العمل المطلوب (لحام أو قطع أو إصلاح) .
- انتشارال غطاس ببطء شديد (تدريجياً لمعادلة الضغط) .
- خلع الحلة وسحب باقى الأجهزة والمعدات .

ويختار مكان الغطس بحيث يكون أقرب ما يمكن لمكان العمل (أرض أو قارب) مع تثبيت مكان القارب حتى لا تؤثر حركته على عملية الغطس مع رفع أعلام وإشارات وإضاءات إرشادية للاستدلال على موقع العمل وللتحذير مع تحديد درجات الحرارة وسرعة تيار الماء والعمق عند موقع العمل .

ينزلُ الغطاسُ إلى الماء عن طريق سلم خاص ويتوقف لفترة قصيرة للتأكد من احكام حلة الغطس (ظهور فقاعات هواء فى الماء يدل على الخطر ويجب الخروج فوراً من الماء وإحكام حلة الغطس) وتبلغ سرعة النزول 10 m / min وعند الوصول إلى مكان العمل يتأكد الغطاس من وضوح الرؤية وسهولة التنفس وسلامة جميع المعدات ويبلغ السطح بذلك ويتوقف زمن الغطس على عمق الماء ونوعية العمل (يوجد جدول خاص بذلك .

ويعطى للغطاس إشارة انتشارالة بزمن مبكر يبلغ دقيقتين حيث يستعد الغطاس للتوقف عن العمل . حينئذ يبدأ عمال السطح فى تقليل كمية الهواء المدفوعة ويبدأ الانتشال بسرعة لا تزيد عن ثمانية أمتار فى الدقيقة .

ويحتاج العمل لِعَمَالٍ مهرة بصفة خاصة فى حالات الظروف الصعبة مثل الرؤية الضعيفة - التيارات والأمواج العالية - برودة الماء أو تجمده .

وتتقضى احتياجات الأمن والسلامة أن لا يُسَمَحُ بالعمل فى حالة أمواج سرعتها تزيد عن ثلاث عقدات ، سرعة تيار الماء لا تزيد عن ثلاثة أمتار فى الثانية فى حالة زيادة السرعة عن ذلك تعمل سواتر خشبية أو معدنية لتكوين غرفة وقاية Protective Chamber فى كل مكان العمل لحماية الغطاس ولا يُسَمَحُ بعملية الغطس عند ما تقل درجة الحرارة عن عشرين درجة مئوية تحت الصفر (فوق سطح الأرض) .

ويقل وقت الغطس عند سوء الأحوال الجوية حفاظاً على حياة الغطاس، ويجب عمل دراسة للموقع (اصطدام السفن أو غرقها أو انتشارها) الخروج والدخول وتحديد الأماكن المعينة لحركة الغطاس والكبالات ، يجب وجود غطاسين أحدهما يعمل والآخر للملاحظة والتأمين

المعدات

تتكون المعدات فى غالب الأحوال مما يلى :

- جهاز توصيل الهواء المضغوط Compressed Air Supply يوصل الهواء المضغوط بضغط يفوق قليلاً ضغط الماء المحيط بالشغلة وبصفة مستمرة وبكميات كافية ليس فقط للتنفس بل أيضاً للتهوية وكذلك لعملية طفو الغطاس .
- وتعتمد كمية الهواء اللازمة للتنفس على قدر ونوع العمل ودرجة حرارة الماء عند 10°C يحتاج التنفس إلى 30 l / min للأشغال الخفيفة ، 40 l / min للتوسط ، 60 l / min للصعبة وتكون كمية الهواء المضغوط أعلى من نظيرتها فى الجو المعتاد فمثلاً عند إمداد 60 l / min فى الجو المعتاد فانه عند عمق 20 m يجب أن تصل كفاءة وسيلة توصيل الهواء إلى 180 l / min أما عند عمق 30 فتكون 240 l / min وتكون أجهزة توصيل الهواء المضغوط إما يدوية وتستخدم لضغط الهواء لأعمق حتى 15 m وتعتمد على عدد دوراتها ويتراوح تصرفها بين 120 ، 45

لثرا لكل ستة عشر دورة ، 45 دورة على التوالي
وقد تكون ضواغط ميكانيكية Compressor للأعماق المتوسطة والكبيرة .

- معدات إنزال وانتشال الغطاس

تعتمد نوعية هذه المعدات على مكان الغطس وظروف العمل وسرعة تيار الماء ونوعية القاع .

- أجهزة الاضاءة تحت الماء

تشمل الكشاف اليدوي العادي (مصباح ببطارية جافة) حتى عمق 30 m وفي الأعماق الكبيرة تستخدم كشافات كهربائية قوية لاضاءة منطقة كبيرة .

- التليفون المائي

يستخدم كوسيلة اتصال بين الغطاس والسطح ويضاف إلى جانب ذلك وسيلة اتصال أخرى (كبل يُسمَّى كبل الاششارة Signal Cable باستخدام كود متفق عليه لزيادة احتياطات الأمن

- أدوات العمل تحت الماء

تشمل أدوات الورش العادية والقياس البسيطة والمطارق الهوائية Pneumatic Hammers ومعدات الحفر

- معدات اللحام والقطع

وتختلف باختلاف طريقة القطع واللحام تحت الماء .

عمليات القطع تحت الماء

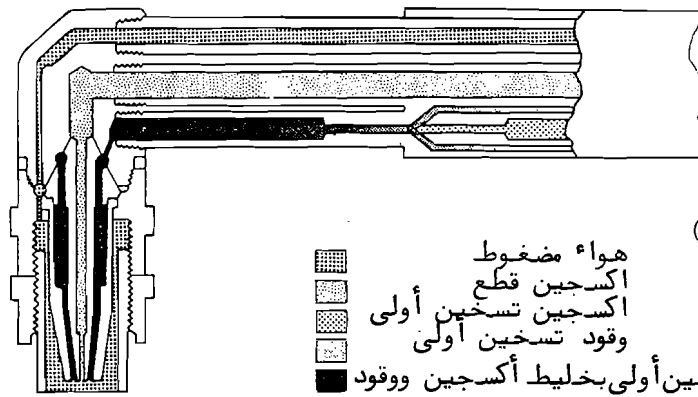
Oxy-Fuel Gas Cutting Process

- القطع بالقوس الكهربائي والأكسجين

استخدمت بعد الحروب العالمية الأولى مباشرة طريقة القطع بالقوس والأكسجين Oxy - Arc Cutting بواسطة البحرية الأمريكية وطورتها في الحرب العالمية الثانية . ثم استخدمت بعد ذلك في الأشغال المدنية للانقاذ والانتشال وحدثا في صناعة بناء المحطات العائمة Offshore Industry ثم طورت واستخدمت في صناعة وصلات اللحام تحت الماء .

طريقة القطع باللهب Oxy-Fuel Gas Cutting Process

تعتمد على Exothermic Reactions بين غاز الأكسجين والصلب وتختلف فوهة بوري القطع في الهواء باستخدام الأستلين عن تلك المستخدمة تحت الماء وذلك لصعوبة الاحتفاظ بالمسافة بين الفوهة وسطح القطع ثابتة بكل دقة تحت الماء هذا بجانب اختلاف البيئة (هواء - ماء) وبين شكل (1 - 67) رسم فوهة البوري تحت الماء .



وقد أقتصرت استخدام هذه الطريقة على أعماق لا تزيد عن 8 m حتى عام 1925 وفي عام 1926 استخدم غاز الأيدروجين في عمليات القطع (Oxy - Hydrogen)

وما زالت تُستخدَم حتى الآن . ثم تطورت بإضافة خرطوم خارجي للهواء المضغوط الأمر الذي سهل عملية القطع عند الأعماق الكبيرة نسبيا .

اختيار الوقود

يتوقف على نتائج دراسة التفاعلات الكيميائية عند الأعماق فمثلا C_2H_2 يتحلل عند أعماق بين خمسة وخمسة عشر متر (5 - 15 m) بينما يظل H_2 مستقرا وذو فاعلية ثابتة حتى 1400 m والجدول التالي يوضح درجة الحرارة والعمق الذي يتسلسل عنده (الغازات المختلفة الخاملة والبلازما) أنسبها Shielding or Plasma Gases بالنسبة للقطع عند الأعماق الكبيرة .

| الغاز | العمق بالمتري | درجة الحرارة درجة مئوية | الاستخدام |
|----------|---------------|----------------------------|-----------|
| هيدروجين | 1420 | 0 | وقود |
| ميثان | 1430 | 4 | |
| ايثان | 179 | 0 | |
| أكسجين | 4410 | 0 | مؤكسد |
| نيتروجين | 5090 | 0 | غاز واق |
| أرجون | 3570 | 0 | أو بلازما |

كذلك استخدمت بعض أنواع الوقود السائل مثل البترول وخليط بترول والكحول باستخدام بوري قطع خاص . وحديثا خليط ثلاثي MAPP (ايثيل - أستلين - بروباين) (م أ ب) وهو يصلح للعمل في الهواء وتحت الماء (هناك بعض المتاعب لهذا الخليط تحتاج لدراسة خاصة) . وبالنسبة للشحانات فقد استخدم $O_2 - H_2$ للشحانات 10 mm - 40 mm وقد تصل بعض الحالات إلى 300 mm .، تلاقي الشحانات الصغيرة صعوبات (أقل شحانة 10 mm) بسبب زيادة التبريد السريع

الماء المحيط بعملية القطع (Rapid Quenching)

وتشابه عملية القطع تحت الماء تلك فى الهواء . مع زيادة ضغوط غازات الاشعال ويمكن أن يتم ذلك فوق سطح الماء أو تحتها (تتم الإضاءة قبيل الغوص فى المياه الضحلة) ويجب تجنب أى تجمعات غازية قابلة للانفجار كما هو الحال بالنسبة للمنشآت العائمة .

القطع باستخدام القوس والأكسجين (Oxy-Arc Cutting)

يولد قوس كهربائى بين سيخ القطع الأنبوبى الذى يجعل غاز O_2 فى وسطه وفى أول الأمر استخدمت أسياخ كربون . أما الآن فتستخدم أسياخ صلب أو سيراميك وتغطى أسياخ الصلب بمساعد صهر ثم من الخارج بطبقة Epoxy Coating مع استخدام التيار المستمر DC بحيث يكون الالكترود سالبا . ويمكن قطع ثخانات حتى 40 mm وتقل عن 10 mm حتى 6 mm باستخدام أسلوب السحب Drag ، ويصعب قطع ثخانات تزيد عن 40 mm .

وتكون شدة التيار المستخدم حوالى 300 A للصلب وتزيد عن ذلك للكربون والسيراميك .

وتكون أسياخ السيراميك أقل استهلاكاً إلا أن أبطأها فى القطع والصلب يعتبر أسرع طرق القطع ونظراً لأن أسياخ السيراميك تكون قصيرة فإنها تتيح سرعة المناورة فى القطع ومساحتها أكبر فى القطع إلا أن أسياخ الصلب تكون دائماً رخيصة ومتوفرة .

وتحتوى الدائرة الكهربائية على مفتاح عازل يستعمله الغطاس عند تغيير السيخ .

القطع اليدوى بالقوس Manual Metal Arc Cutting

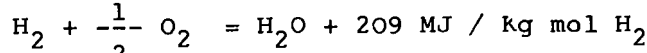
تتم دون الاستعانة بأية غازات أو Exothermic Reactions ويستخدم تيار عالى الشدة بدرجة كبيرة 300 A للثخانات أقل

من 6 mm للصلب .

والجهاز المستخدم في عمليات القطع المبلل Wet Cutting هو ذاته المستخدم فوق سطح الماء على أن تكون من النوع الماتع للماء Water Proofed وتعتبر هذه الطريقة مناسبة للشحانات الرقيقة فقط

استخدام غازات أخرى في اللحام

بالرغم من أن استخدام غاز الأستلين يغلب في 90 % من حالات اللحام بالغاز إلا أنه يمكن استخدام غاز الهيدروجين وحرقه مع الأكسجين كالتفاعل التالي :



ويمكن للهب أن يعطى درجة حرارة تبلغ نحو $3400^\circ C$ وهذا اللهب يُستخدَمُ بفائض الهيدروجين لتحقيق جو معادل حتى جـو مختزل اللحام يساعلى إزالة الأكاسيد من الوصلات ، وبديهي أن تنخفض درجة الحرارة في هذه الحالات . مثل لحام الألومنيوم والمغنسيوم (الفلزات شرة الاتحاد بالأكسجين) .

كما يمكن حرق الهيدروجين بأكسجين الهواء الجوى المعتاد بدلا من غاز الأكسجين الصافى .

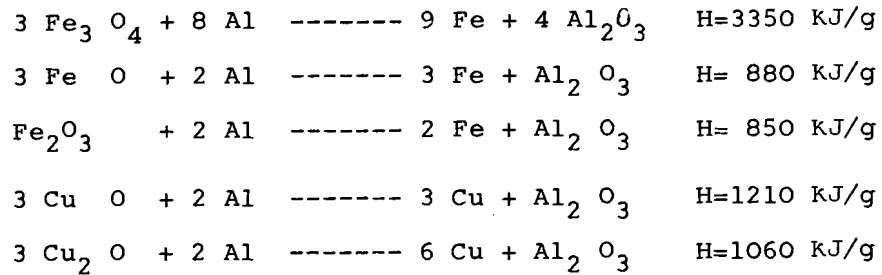
وهناك غازات أخرى في مجموعة الهيدروجين كالغاز الطبيعى والبروبان والبيوتان يمكن استخدامها في هذا السبيل بحرقها إما في الهواء المضغوط أو بالأكسجين لغرض اللحام أو حتى لعمليات التسخين الأولية التى تسبق اللحام أو القطع وعبوبها انخفاض درجة حرارة لهبها الذى يبلغ نحو $1150^\circ C$ فاشتعال غاز البيوتان يعطى $C_4H_{10} + 2O_2 = 4CO + 5H_2 + 230 \text{ MJ/kg mol } C_4H_{10}$

وبديهي أن يعطى الاحتراق التام اللاحق إلى ثانى أكسيد الكربون حرارة أعلى من هذا التفاعل بزيادة الأكسجين ولكن اللهب يصبح مؤكسدا .

لحام الثرميت (استخدام الحرارة الناتجة من تكوين أكسيد الألومنيوم)

Thermit Welding

تنتج الحرارة في هذه الحالة من تفاعل كيميائي طارد للحرارة Exothermic ومثال ذلك التفاعل الحادث بين أكاسيد الفلزات والفلزات المختزلة . وتختار في هذه الحالات الأكاسيد التي تحتاج إلى كمية حرارة ضئيلة في تكوينها وكذلك تمتاز الفلزات المختزلة التي تتأكسد باعطاء كمية كبيرة من الحرارة مثال ذلك :



ويلاحظ في هذه التفاعلات أن الألومنيوم استخدم كفلز مختزل وفي بعض الأحوال يستخدم المغنسيوم لهذا الغرض (عيبه فقط ارتفاع درجة حرارة انصهار أكاسيده) وأشهر الأكاسيد المستخدمة هي $\text{Fe}_3 \text{ O}_4$ التي تنتج من عمليات الدلفنة على الساخن في شكل قشور تطحن وتخلط بمسحوق الألومنيوم الذي يشتعل عند تسخينه إلى درجة حرارة 1100°C حسب المعادلة الأولى ونحصل على نواتج الاحتراق في حالتها المنصهرة نظرا للارتفاع الشديد في درجة الحرارة 3000°C وهي تقرب من درجة غليان الحديد .

وتبدو هنا حقيقتان ظاهرتان :

- ارتفاع درجة الحرارة الناتجة عن الحاجة
- ينتج الحديد النقي (الخالي من الكربون وليس الصلب) من التفاعل .

ولذلك يجب استخدام بعض الإضافات للخليط المسحوق بكميات معينة مثل الكربون والفيرومنجنيز والفيروسيليكون وبعض مركبات

الفلزات الأخرى مع الحديد (الفيروكروم عند الحاجة إلى إضافة الكروم مثلا الى مكان الوصلة) .

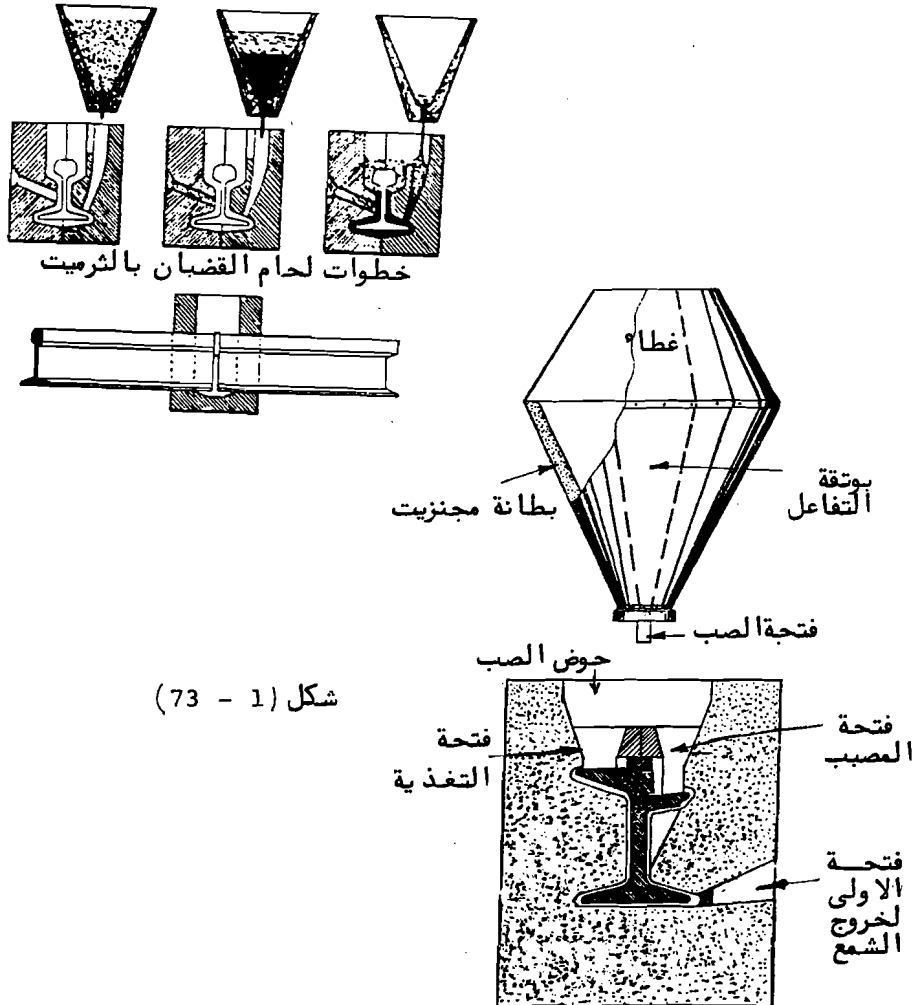
وهذه الإضافات ترفع من جودة النواتج . هذا ومن ناحية أخرى فقد يُضَافُ في بعض الأحيان بعض من مسحوق خرقة الصلب للخليط السابق بقصد خفض درجة حرارة الاشعال إلى الحد المعقول (نحو 2200°C) ولأن هذه الدرجة قريبة من درجة حرارة انصهار أكسيد الألومنيوم Al_2O_3 الأمر الذي قد يترتب عليه حبس بعض الخبث المتجمد في الجزء المنصهر . لذلك يُضَافُ قليل من الجير للخليط (مساعد صهر) بقصد خفض درجة حرارة انصهار الخبث . وعلى ذلك يحتوى خليط الثرميت على ألومنيوم وأكسيد حديد وسبائك حديدية وكربون وصلب خردة وجير .

أسلوب لحام الثرميت :

يمكن في الحقيقة تشبيه عملية اللحام بالثرميت بعملية صلب (سباكة) موضعية . فهي تقتصر على وصلات اللحام للقطاعات السميكة نظرا لعمليات التحضير الأولية الأمر الذي لا يستحق وشأنه فـي الوصلات الصغيرة .

وتبدأ عملية التحضير للوصلة بفصل الطرفين بمسافة من 10 إلى 80 mm ويشكل بينهما نموذج من الشمع حسب الشكل المرغوب لوصلة اللحام في النهاية شكل (1 - 73) ثم بشكل قالب رملي حول الوصلة والنموذج الشمعي ويشكل مصبوبات ومجاري وفتحة تسمح بالتسخين الأولى . ثم يبدأ التسخين فـي الفتحة المذكورة باستخدام لهب (زيت البترول) إلى درجة الاحمرار حيث ينصهر الشمع ويسيل من الفتحة المذكورة تاركا فراغ القالب الذي تركه الشمع الذي سيملا بالفلز (الحديد) وبعد الانتهاء من التسخين الأولى المذكور تسد الفتحة المذكورة تماما. وفي هذه الأثناء تشحن بودقة مخروطية الشكل بمسحوق الثرميت وتوضع فوهتها السفلى فوق مصب القالب وبعيدة عنه بعدة سنتيمترات (10 - 25 cm) ويشعل المخروط في البودقة لفترة تتراوح نصف دقيقة

ودقيقة حيث يتم التفاعل ويطفو الخبث فوق المنصهر في البودقة . ثم يسمح للمنصهر بالخروج من فتحة أسفل البودقة (من فتحة بأسفلها) فيملأ القالب المشكل بين طرفي الوصلة ويتولى هذا المنصهر من جانبه تسخين طرفي الوصلة وصهر أسطحها والاتحاد مع هذا المنصهر ويتترك ليبرد عدة ساعات قبل هدم القالب الرملى من حول الوصلة . وذلك حتى تنتج مكونات غير قصيفة .



شكل (1 - 73)

الباب الثالث

استخدام الطاقة الكهربائية فى اللحام

اللحام بالقوس الكهربائى

تتفوق هذه الطريقة على سائر الطرق الأخرى للحام حتى أن مدى انتشارها يبلغ نحو 90 % من مجموع طرق لحام الصهر المختلفة . وفى هذه الطريقة تستخدم الطاقة الكهربائية بتحويلها إلى طاقة حرارية تستخدم فى الصهر الموضعى لطرفى الوصلة .

ولادراك أبعاد هذه الطريقة نجد أنه من الضرورة بمكان دراسة طبيعة تكوين القوس الكهربائى فعلى هذا الأساس يمكن حل كثير من مشاكل اللحام . فيمكن اختيار أسياخ التنجستن أو الكربون أو تحديد مواصفات أسياخ أخرى مستهلكة . وتقدير ما إذا كان يلزم تعزيزها بجو من الأرجون أو الهيليوم متى يستخدم الهيدروجين الذى . أو أى التيارين أنسب لعملية لحام معينة التيار المتردد أو التيار المستمر ونوعية القطبية وشدة التيار إلى آخر ذلك من متغيرات .

طبيعة تكوين القوس الكهربائى

تعريف - القوس الكهربائى هو تفريغ كهربائى دائم خلال غاز متأين .

Definition : Electric Arc is a sustained electrical discharge through an ionized gas .

ويبدأ التفريغ الكهربائى بخلق انبعاث إلكترونى من قطب سالب ساخن (الالكترود ويمثل الكاثود (المهبط) حيث تنطلق الإلكترونات مندفعة نحو القطب الموجب ويحافظ على استمرار التفريغ باستمرار تأين الغاز حرارياً . وهنا يجب أن نذكر ثلاثة مفاهيم تلعب الأدوار الرئيسية فى تكوين القوس الكهربائى وهى :

الحرارة ، التأين ، الانبعاث

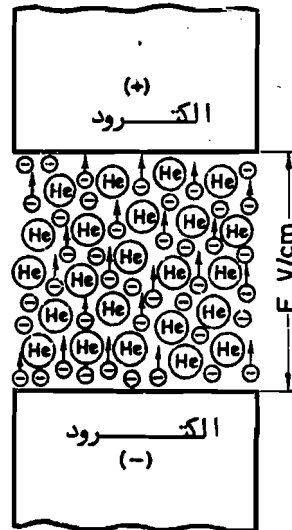
1- الحرارة

الحرارة في كل تطبيقاتها عبارة عن حركة . وهو أمر يستهل إدراكه في الغازات وكذلك يسهل صياغته في معادلات بسيطة . فلو علمت طاقة الحركة الانتقالية (المتوسطة) لجزيئات غاز ما في حجم محدود أمكن معرفة درجة الحرارة والعكس صحيح .

$$\frac{1}{2} \overline{Mv^2} = \frac{3}{2} R T \quad \dots\dots (1)$$

حيث M هي الوزن الجزيئي ، v السرعة ، R ثابت الغاز ، $\overline{v^2}$ (مربع السرعة المتوسط بين كـل الجزيئات) فمثلا في حالة الغازات الخليطة كالهواء فإن الكمية $\overline{Mv^2}$ تؤخذ كمتوسط بين الأصناف الجزيئية إذ أن ضمان انتظام توزيع طاقة حركة الجزيئات بانتظام أمر غير محقق الحدوث وهي خاصية ذاتية للغازات .

ولإمكان معرفة كيفية تولد الحرارة وانتقالها داخل جسم القوس الكهربائي فإننا نتصور النموذج التخليقي المرسوم في شكل (1 - 75) الذي يصور وجود



شكل (1 - 75)

غاز حامل كغاز الهليوم (للتبسيط) وحوله بعض الالكترونات الحرة
فى مجال كهربائى بين قطبين أحدهما سالب والآخر موجب بينهما
جهد كهربائى مقداره $E (V) / cm$ حينئذ نجد أن كل إلكترون
حُر يقع تحت تأثير قوة دفع فى اتجاه المجال الكهربائى المسيطر من
القطب السالب إلى القطب الموجب وهذه القوة تعادل

$$F = e \cdot E \quad \text{Dyne}$$

$$(e) = \text{شحنة الإلكترون} = 4,8 \times 10^{-10} \quad \text{وحدة استاتيكية}$$

$$(E) = \text{الجهد الدافع} \quad E (V / cm)$$

$$m = \text{فإذا كانت كتلة الإلكترون}$$

$$\text{فإن الإلكترون سيندفع بعجلة تسارع} \quad a = \frac{F}{m} = \frac{e \cdot E}{m}$$

ويظل كل إلكترون منطلقا بعجلة التسارع هذه فى خط مستقيم إلى
أن يصطدم بإحدى ذرات الهليوم الموجودة معه فى المجال ويكسبها
جزءاً من طاقة حركته ويرتد بالجزء الباقى منها فيتوقف إلكترون للحظة
يرتد بعدها قليلاً بتأثير الصدمة (ضد اتجاه حركة الطبيعة فى
المجال) ويكون هذا الارتداد بعجلة تقصيرية ثم ما يلبث أن يسكن
بعد ما استعداداً للعودة إلى اتجاه حركته الطبيعية فى المجال
أى فى اتجاه القطب الموجب وهكذا يتكرر الحال .

ولو كان ضغط غاز الهليوم يعادل الضغط الجوى فإن متوسط
المسافة بين ذراته ستعادل 10^{-5} أى أن المسافة التى سيقطعها
كل إلكترون بين صدمتين لذرتى هليوم ستكون هذه المسافة المتوسطة
بينى فى كل مرة منها طاقة حركة بعد التسارع تبلغ ذروتها قبيل
(عند) الصدمة وتبلغ هذه الطاقة :

القوة الدافعة \times المسافة المقطوعة

$$10^{-5} \cdot eE = 4,8 \times 10^{-15} E \quad \text{erg}$$

وعند تعديل المعادلة رقم (1) ليصبح أساسها لكل جسيم

$$\frac{1}{2} mv^2 = \frac{3}{2} kT = 4,8 \times 10^{-15} E \quad \text{.....(2)} \quad (\text{particle})$$

حيث $k = \text{ثابت بولتسمان}$

$$1,38 \times 10^{-16} / ^\circ C = \text{ثابت الغاز لكل جسيم}$$

ومن ذلك يمكننا حساب التغير في درجة حرارة الإلكترون من لحظة
سكونه بعد الصدمة الأولى حتى يبلغ سرعته القصوى قبيل الصدمة
الثانية .

$$\Delta T = \frac{2}{3} \times \frac{4.8 \times 10^{-15} E}{k} = \frac{2 \times 4.8 \times 10^{-15} E}{3 \times 1.38 \times 10^{-16}} = 23 E \text{ . K} \quad \dots\dots(3)$$

أى أنه بتحديد قيمة E يمكن تحديد درجة حرارة الإلكترون
والمقدار E يكون في المعتاد في حدود 1 , 0 فولت ستاتيكي
/ سم . ويفهم من ذلك أن كل الإلكترونات تكون حركتها موازية
وموافقة لاتجاه المجال الكهربائي سوف تتسارع (تسير بعجلة)
بالمعدل المذكور . أما تلك التي تسير في اتجاه عمودى على المجال
بعد تصادمها بالذرات فإن معدل تسارعها أو اكتسابها لطاقة
الحركة يكون ضئيلا نسبيا . بينما تتضاءل طاقة حركة (تسير بعجلة
تقصيرية) تلك الإلكترونات التي تسير في اتجاه عكس المجال عقب
تصادمها .

ويمكن القول بصفة عامة أن المجال الكهربائي يعطى طاقة حركة
للالكترونات بينما لا تتأثر الذرات المتعادلة للغاز بالمجال الكهربائي .
فقط تتأثر هذه الذرات تأثراً غير مباشر باصطدام الإلكترونات بها
واكتسابها جزءاً من طاقتها ويمكن تقدير ذلك باعتبار أن الإلكترونات لها
طاقة حركة قبل الاصطدام بذرات الهليوم الساكنة 4.8×10^{-16} أرج

وبتطبيق قوانين الاحتفاظ بكمية التحرك وطاقة الحركة يمكن كتابة
العلاقات التالية :

$$(MV = 0) + mv = mu + MU \quad \dots\dots(4)$$

$$\left(\frac{MV^2}{2} = 0\right) + \frac{mv^2}{2} = \frac{mu^2}{2} + \frac{MU^2}{2} \quad \dots\dots(5)$$

حيث M = كتلة ذرة الهليوم
V = سرعة ذرة الهليوم الأولية (قبيل التصادم) = صفر
U = سرعة ذرة الهليوم النهائية (بعد التصادم)
m = كتلة الإلكترون
v = سرعة الإلكترون الأولية (قبيل التصادم)

$u =$ سرعة الإلكترونات النهائية (بعد التصادم) .

قبل التصادم v و m كتل وسرعات الإلكترونات قبل التصادم ،
بعد التصادم u .

وبحل المعادلتين 4 و 5 نجد أن جزءاً صغيراً فقط من طاقة حركة الإلكترونات ، تنكسبه ذرات الهليوم وهذا الجزء يعادل $(4 \frac{m}{M})$ أى بما يساوى % 0,06 تقريباً وهو جزء الطاقة المكتسبة للإلكترونات والذي ينتقل إلى ذرات الهليوم وبمعنى آخر فإن كل ذرة سترتفع درجة حرارتها بمعدل $0,001^{\circ}\text{C}$. عند كل صدمة وهو معدل يبدو بطيئاً ظاهرياً إلا أننا إذا علمنا أن عدد الاصطدامات في الثانية لكل جزيء يبلغ نحو 10^{11} عند درجة حرارة الجو لا يمكننا أن ندرك مقدار اكتساب ذرات غاز الهليوم لطاقة حركة (= حرارة) الإلكترونات بسبب الاصطدامات بينهما .

2- التأين : Ionization

إن من المعروف فى تركيب الذرة بنواتها والإلكترونات أنها عند التأثير على الذرة بطاقة خارجية فإن هذا التأثير يقع فى المقام الأول على الإلكترونات (المرتبطة بالنواة) بنقلها من مداراتها إلى مدارات أبعد عن النواة (بينما يظل الارتباط بينهما) ثم تعود فوراً إلى مداراتها الأصلية معطية فى هذه الحالة مقداراً كمياً من الضوء Quantum هو (فى الحقيقة موجات الكرومغناطيسية) يعادل الطاقة التى بذلت فى زحزحته من مداره الأصلية فى أول الأمر ويطلق على الذرة فى تلك الفترة الوجيزة (تبلغ نحو 10^{-8} ثانية) التى بقى فيها الإلكترون أو الإلكترونات فى غير مدارها الأصلية بذرة مستثارة (Excited Atom)

ومن ناحية أخرى إذا زادت الطاقة المؤثرة على الذرة بمقدار يمكنه من التغلب على الارتباط بين الإلكترونات الخارجية والنواة فإن هذه الإلكترونات تتحرر من ارتباطها بالذرة . ويطلق على الذرة أنها فى حالة تأين أى متأينة .

وإذا سلط على ذرات متأينة مجال كهربائى فإن الإلكترونات ستتجه نحو المصعد Anode بينما تتجه الأيونات (الذرة الموجبة

التي فقدت الإلكترونات (نحو المهبط Cathode) ولذلك يتميز الغاز المتأين بخاصية توصيله للكهرباء دون أى تغير فى خواصه الأخرى .

ولما كان كل غاز يحتاج إلى طاقة معينة لتحقيق تأينه فإن هذه الطاقة يطلق عليها جهد التأين (بالفولت) وهو يساوى عدد يا طاقة التأين بالالكترون فولت لكل أيون . والجدول (1 - 79) يعطى مقادير جهد التأين لبعض الغازات والأبخرة .

جدول (1 - 79) جهد التأين لبعض الغازات والأبخرة

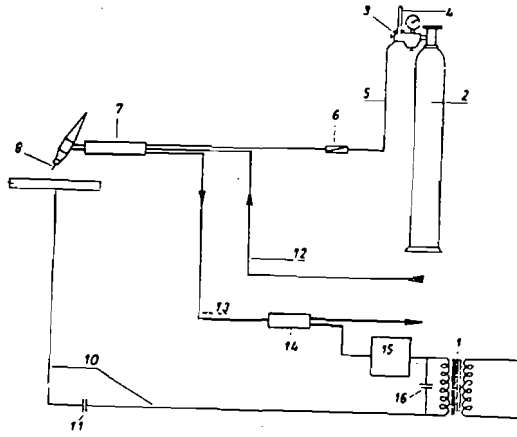
| العنصر فى غاز أو بخار | جهد التأين (فولت) (الكترون فولت / أيون) | العنصر فى حالة غاز أو بخار | جهد التأين (فولت) (الكترون فولت / أيون) | العنصر فى حالة غاز أو بخار | جهد التأين (فولت) (الكترون فولت / أيون) |
|-----------------------------|--|----------------------------------|--|----------------------------------|--|
| أرجون | 15,7 | هيليوم | 24,5 | CN | 14 |
| النيوم | 6,0 | بوتاسيوم | 4,3 | CO | 14,1 |
| كالمسيوم | 6,1 | نيتروجين | 14,5 | Cl ₂ | 13,2 |
| نحاس | 7,9 | صوديوم | 5,1 | H ₂ | 15,6 |
| فلورين | 17,3 | اكسوجين | 13,6 | H ₂ O | 12,6 |
| هيدروجين | 13,5 | سيليكون | 8,1 | N ₂ | 15,5 |
| | | تنجستن | 8,1 | O ₂ | 12,5 |

ويهمنا في المقام الأول في عمليات اللحام بالقوس الكهربائي ذلك التأين الحادث من الاصطدام بين الإلكترونات والذرات والجزيئات الساخنة (ذات طاقة الحركة العالية) وتتصف هذه الاصطدامات كما هو الحال في النموذج التخيلي للإلكترونات وذرات الهليوم السابق الكلام عنه بالتزامها بالاحتفاظ بطاقة الحركة وكمية التحرك قبل وبعد التصادم أي أن التصادم يكون مرونياً ما لم يحدث تغيير في حالة الذرات (تحويلها الى ذرات مستثارة أو تأينها) وفي هذه الحالة لا تتصف الاصطدامات بالمرونة وهذه الاصطدامات غير المرنة التي تؤدي إلى استثارة الذرات أو تأينها تتم في الحقيقة بين الجسيمات (الإلكترونات - الذرات - الجزيئات) المرتفعة جداً في درجة حرارتها . وأن الصفة التي تميز القوس الكهربائي عن أي تفريغ كهربائي آخر (تفريغ كوروناي أو أي تفريغ متوهج) فهي أن التفريغ الحادث في القوس الكهربائي ناشئ عن اصطدامات مويّنة بين ذرات متعادلة (أو جزيئات) ساخنة جداً بينما تتصف التفريغات الأخرى بارتفاع سرعة الإلكترونات عن اصطدامها بالذرات (الباردة نوعاً) ولا يجب أن يغيب عن الذهن في هذا الصدد أنه ليس من المحتم أن تتحرك كل الذرات بالسرعة الكافية لتتشارك في اصطدامات التأين لتكوين القوس الكهربائي ولذلك فلن يمكن المحافظة على خاصية توصيل القوس الكهربائي للطاقتها الكهربائية فإن الأمر يقتصر على تسخين عدد ضئيل من الذرات لتمكينها من التأين تظل باقى أجزاء القوس في درجة حرارة لتعطي الذرات السريعة الحركة . وهذه الدرجة تبلغ نحو 6000°C لمعظم الغازات والأبخرة عند الضغط الجوي . علماً بأن كل تغير قدره إلكترون فولت واحد في طاقة الحركة لكل جسيم يعادل تغير قدره 7500°C وفي القوس المعتاد يكون متوسط طاقة الحركة المنتقلة نحو 0,8 إلكترون فولت لكل ذرة أي أن الارتفاع في درجة الحرارة يبلغ نحو 6000°C .

3 - الانبعاث :

خلصنا من القول أنه عند ما يتم تأين غاز تأيناً كافياً فإنه يصبح موصلًا للكهرباء فعند تطبيق جهد كهربائي على غاز ساخن فإن الأيونات المتحررة تتحرك نحو المهبط بينما تتجه الإلكترونات نحو المصعد وبذلك

يسرى تيار فى الدائرة ولكى تتم عملية التأين التى سبق شرحها بتسخين الغاز بواسطة المجال الكهربائى لا بد من تواجد بعض الإلكترونات لتقوم بمهمة تحويل طاقة المجال إلى طاقة حركة . وهذا هو فى الحقيقة ما يتم لتوليد القوس الكهربائى والشكل (1 - 18) يبين الدائرة الكهربائية المكونة للقوس فتبدأ عملية توليد القوس بعمل اتصال



شكل (1 - 81)

- 1 - محول
- 2 - اسطوانة أرجون
- 3 - صمام مخفض للضغط
- 4 - مبین لاستهلاك الغاز
- 5 - خرطوم الغاز
- 6 - صمام كهربائى
- 7 - ماسك الالكترود
- 8 - الكترود تنجستن
- 9 - الشغلة
- 10 - كبل التيار
- 11 - مكثف
- 12 - دخول الماء
- 13 - خروج الماء وكبل دخول التيار
- 14 - مؤمن ضد انخفاض كمية ماء التبريد
- 15 - وحدة التردد العالى
- 16 - مكثف

معدنى مباشر بين الإلكترود (السبخ) والمشغولة ثم ينزع الإلكترود تدريجياً من الشغلة حيث تبدأ ممرات التيار (جسورة) فى الانقطاع واحدة تلو الأخرى فترتفع شدة التيار للمرات المعدنية الباقية بالقياس بالتدريج حتى تصل هذه الشدة فى الممرات القليلة الباقية فى النهاية إلى مقدار يتيح لها التسخين إلى درجة غليانها ثم انفجارها كما يحدث فى لحام الشرارة . ويتم تحت هذه الظروف تحرير تيار من الإلكترونات من الأسطح (انطلاق أيونى حرارى) Thermionic Emission فعند المصعد ما تلبث الإلكترونات التى تنبعث منها أن تعود راجعاً إليه بينما تنطلق الإلكترونات من المهبط بعجلة إلى المصعد وتقوم بعملية التسخين والتأين وهى مراحل تكوين القوس .

وحتى لا يحدث خلط بين طبيعة القوس الكهربائي والشرر الكهربائي المستخدم في بعض عمليات اللحام نعلم أن الشرر الكهربائي لا يعقبه تكوين قوس لأن الجهد الكهربائي المكون للشرر لا يرقى إلى الدرجة التي تحدث تأينا .

ومنذ لحظة بدء الانطلاق المذكور فإن القوس يصبح مصدرا للأيونات الموجبة المتحررة التي تنجذب إلى المهبط وتحتفظ به ساخنا .

ومن ناحية أخرى فإن عمر هذه الأيونات في تكوينها قصير حتى أن كثيرا منها لا يصل إلى المهبط فقط يصل إلى المصعد تلك التي يتم تأينها عند سطح الانطلاق ولذلك تتضاءل المساحة التي يتم منها الانطلاق وتسمى المساحة التي يتحدد عندها الانطلاق ببقعة المهبط (Cathode Spot)

وقد أمكن لريتشارد رسون Richardson إيجاد علاقة تحدد معدل انبعاث الإلكترونات من أي سطح ساخن وقد أمكن تعزيز هذه العلاقة تجريبيا

$$I = AT^2 e^{-B} \quad \dots\dots\dots 6$$

حيث

$T =$ درجة الحرارة المطلقة ($^{\circ}K$)

$I =$ معدل الانبعاث $Ampere/cm^2$

$A =$ ثابت يعادل (60 - 100) لأسطح المعادن النظيفة

$B =$ ثابت يتوقف على المعادن المختلفة وقد أمكن تحديده تجريبيا

$$B = \frac{\phi e}{KT} \quad (7) \quad \text{بالعلاقة}$$

$e =$ شحنة الإلكترون

$K =$ ثابت بولتسمان

$\phi =$ تسمى دالة الشغل Work Function

(تقاس بالالكترون فولت) وهي طاقة الحركة الحرارية التي

يجب منحها للإلكترون (ليغلى) ينطلق من المعدن

(ينبعث)

وبملاحظة العلاقة رقم (6) نجد أن كثافة التيار I حساسة

بقدر متواضع للمعامل A إلا أن هذه الحساسية تكون

كبيرة جدا لمقدار الأسس أي أن نقص مقدار دالة الشغل ϕ وارتفاع

درجة الحرارة يشجعان الانبعاث .

ويبين الجدول (1 - 83) قيم دالة التشغيل لبعض المعادن .

جدول (1 - 83) دالة الشغل للتأين
الحرارى لبعض المعادن

| | | | |
|---------|------|---------|------|
| ألمنيوم | 4, 1 | حديد | 4, 4 |
| كربون | 4, 3 | مغنسيوم | 3, 7 |
| نحاس | 4, 4 | تنجستن | 4, 5 |

وبمجرد بدء القوس (إشعاله) فإنه يصبح مصدراً للأيونات الموجبة والإلكترونات الحرة . حيث تنجذب الأيونات الموجبة إلى المهبط (الكاثود) وتصدمه وتحافظ عليه ساخناً . ولما كان من المعروف أن عمر تأين الذرة قصير فإننا نتوقع أن الأيونات التي تتولد عند سطح الانبعاث هي فقط التي تبقى متأينة وتستطيع أن تصل إلى المهبط (الكاثود) وبأخذ هذه الحقيقة في الاعتبار وتأمل علاقتها بالمعادلة (6) يمكن إدراك أن مساحة سطح الانبعاث تتجه إلى التضاؤل ويبقى منها بقعة صغيرة مشعة يطلق عليها بقعة المهبط Cathode Spot وإذا أمكن التعويض في المعادلة (6) بقيمة درجة الغليان ودالة الشغل لمعدن المهبط عند تيار انبعاث معين يمكن حساب قطر بقعة المهبط إلا أنه يصعب تعيين تيار الانبعاث لأن جزءاً كبيراً من تيار القوس يتم نقله بواسطة الإلكترونات الثانوية التي تتولد من التصادم المومين (هناك جزء آخر من تيار القوس يتم نقله بالأيونات الموجبة) . لذلك فإن عكس ذلك يتم عملياً بقياس التيار الكلى وكذلك مساحة بقعة المهبط ويمكن بواسطة المعادلة رقم (6) تعيين جزء التيار المنتقل بواسطة الإلكترونات الابتدائية المنبعثة . وقد أثبت التجارب العملية على ضوء ذلك أن القوس الكهربائي المتولد من

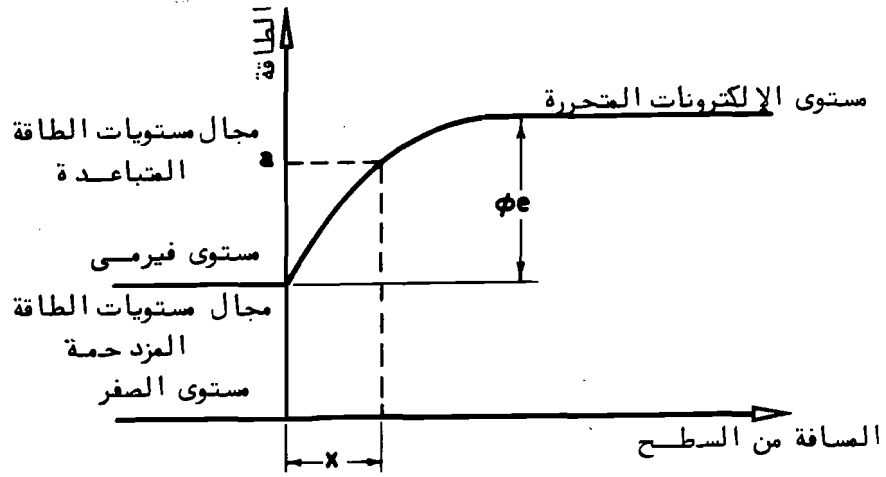
التنجستن أو الكربون يحتوى فى غالبه على إلكترونات ابتدائية بينما تعتمد الأقسام المتولدة من مهبط النحاس أو الألومنيوم فى توصيلتها بصورة رئيسية على الإلكترونات الثانوية ، وتكون طبيعة أقواس الحديسد والصلب أن تأخذ وضعاً وسطاً بين الحالتين أى تقسم الإلكترونات الابتدائية والثانوية عملية التوصيل داخل القوس .

فيزياء الانبعاث الإلكتروني

إن من المعروف أن إلكترونات التكافؤ فى الفلزات ليست كلها قادرة على التحرر (الانبعاث) عند تلقيها طاقة الحركة فالإلكترونات داخل الفلزات شأنها شأن إلكترونات الذرة الحرة تحكمها القوانين الكمية بمعنى أن هذه الإلكترونات لا بُدَّ لها أن تحصل على قدر محدد متميز وهو أمر لا يتاح إلا لإلكترونين اثنين فقط على مستوى ذرات الفلز هذا بجانب أن تكون مستويات الطاقة التى ستنقل إليها هذه الإلكترونات خالية من الإلكترونات . ومن الواضح أن الإلكترونات الوحيدة التى يمكن أن تتاح لها هذه الفرصة وتخضع لهذه الشروط هى الإلكترونات التى تشغل المستوى الأعلى للطاقة والمعروف باسم مستوى فيرمى Fermi Level ويمكن أن يعتمد المقدار AT^2 فى المعادلة رقم (6) مقياساً لعدد الإلكترونات التى يمكنها اكتساب الطاقة الحرارية ويرتقى الى ما فوق مستوى فيرمى حيث يوجد عدد كبير من مستويات الطاقة المتاحة (بينما يوجد عدد قليل نسبياً من الإلكترونات) ، ومن ثم فإن هذه الإلكترونات المرتقية ستخضع لنظرية الغازات التقليدية ويصبح الأس $e^{-\phi_e/kT}$ مقياساً إحصائياً لعدد الإلكترونات المرتقية فى لحظة ما من المقدار الكلى AT^2) والتى تكتسب طاقة حرارية مقدارها (ϕ_e)

ويوضح شكل (1-85) هذه الحقيقة بإبراز العلاقة بين الطاقة الممنوحة للإلكترون والمسافة التى يمكن أن ينطلقها بعيداً عن مستوى فيرمى .

وكما يتضح من ذلك فإن أى إلكترون ينلقى مقداراً من الطاقة قدرها على سبيل المثال (a) أرجح يستطيع أن ينطلق لمسافة (x)

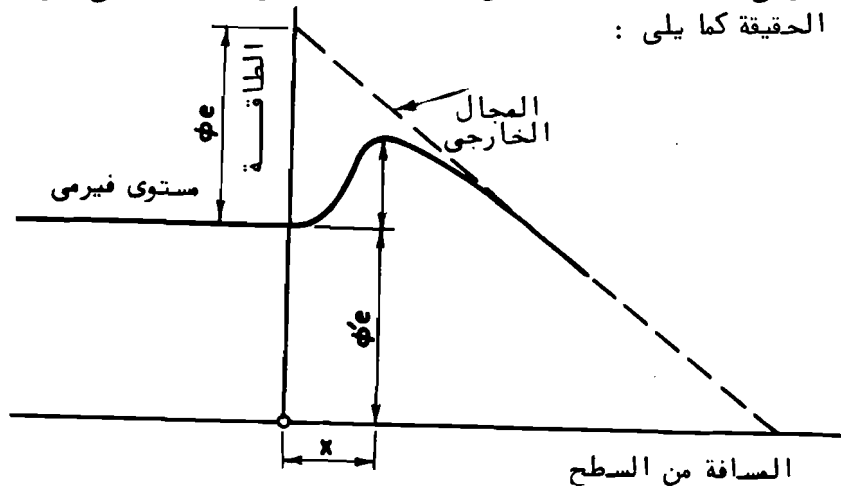


شكل (1 - 85)

أى لا يصل إلى مستوى التحرر الكامل وبذلك فهو ما يلبث أن يعود إلى سطح المعدن (مستوى فيرمي) منجذبا بالقوى الإلكترونية .

وعند أخذ هذه الاعتبارات للتطبيق فى القوس الحاد ثأثنى عمليات اللحام نجد أن الإلكترون المنطلق يقع تحت تأثير مجالين متضادين الأول: القوى الإلكترونية التى تحاول جذبه وإعادته إلى ناحية المهبط، والثانى: قوى المجال الخارجى المطبق بين الإلكترود والشغلة وتحاول جذبه إلى ناحية المصعد .

ونجد أن هذه القوى المتضادة تتعادل عند مسافة ما (x') شكل (2 - 85) ومن ثم فإن أى إلكترون تصل طاقته إلى مقدار $e\phi$ يمكنه أن يتحرر من المهبط وينطلق . وقد أمكن للعالم شوتكى Schottky أن يعيد حساب تيار الانبعاث على ضوء هذه الحقيقة كما يلى :



شكل (2 - 85)

$$I = AT^2 e^{-\frac{e(\phi - 1,43 \times 10^{-7} F/\epsilon)}{kT}}$$

F = جهد المجال الخارجى المطبق v/cm
 ϵ = ثابت العازل

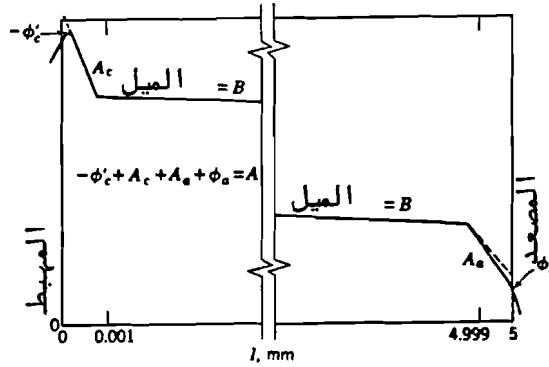
وعلى ذلك يمكن ربط علاقته التى الشغل ϕ ، ϕ' كما يلى

$$\phi' = \phi - 1,43 \times 10^{-7} F/\epsilon$$

ونخلص من ذلك إلى القول أنه ما لم يطبق جهد كهربائى كبير قدره 10^6 فولت لكل سنتيمتر فإن هذا الجهد المطبق سوف يكون له تأثير ضئيل على تيار الانبعاث

توزيع الحرارة على طول القوس الكهربائى

إن الجهد الكهربائى المألوف استخدامه فى عمليات اللحام بالقوس الكهربائى ليصل فى متوسطه إلى نحو 25 فولت ويقع طول القوس فى حدود 2,5 mm أى أن متوسط قوة المجال ستكون 100 فولت لكل سنتيمتر . إلا أن طبيعة القوس أن لا يكون مجاله منتظما على طولـه . فالمناطق المجاورة مباشرة للإلكترودات تكون فقيرة فى الأيونات الموجبة الأمر الذى يؤدى إلى تشويه توزيع المجال بالصورة الموضحة بالخط الشرط الموضح فى شكل (1 - 86) وتبلغ شخانة هذه المنطقة 10^{-3} cm



شكل (1 - 86)

ومن ثمّ فإن قوة المجال تصبح 10^4 فولت / سنتيمتر . ولما كانت الحرارة المتولدة في القوس تتناسب تقريباً مع فرق (هبوط) الجهد في كل منطقة من المناطق فإننا نتوقع أن تكون الحرارة المتولدة عند المهبط كبيرة نظراً للهبوط الملحوظ في الجهد عند المهبط إلا أننا من ناحية أخرى نعرف أن الإلكترونات الساخنة (سريعة الحركة) هي التي تستطيع مبارحة المهبط ومن ثم العمل على تبريده وهذه الحقيقة تشبه عملية تبخر الماء إذ أن التبخر يؤدي إلى برودة الماء . ولما كانت الحرارة المتولدة عند سطح المهبط تتناسب مع مقدار هبوط الجهد عند هذا السطح فإنها ستتناسب مع المقدار $(\phi_c - A_c)$.

وعند المصعد يكون هبوط الجهد أقل شأناً عنه عند المهبط . ومع ذلك فإن الإلكترونات عند دخولها المصعد تفقد طاقة حركتها وطاقة العودة لمستوى فيرمي (أو ما يمكن تشبيهه بالحرارة الكامنة للتكثيف) . وعلى ضوء هذه الحقيقة يمكن القول أن الحرارة المتولدة في القوس بين معدنيّين يكون مقدارها عند المصعد ضعف مقدارها عند المهبط .

وقد يخل بهذه النتيجة أن بعض العناصر وأهمها بصفة خاصة الأكاسيد المقاومة للحرارة تشجع الانبعاث الأيوني الحراري إذ يُعتقد أن هذه الأكاسيد تغطي المهبط بثخانة بضعة جزيئات ويمكن للإلكترونات اختراق هذه الطبقة بينما لا تستطيع الأيونات الموجبة ذلك إلى حد ما فتتراكم على السطح الخارجي .

وفي حين يزداد مقدار هبوط الجهد عند المهبط بعض الشيء نتيجة لذلك إلا أن قوة المجال تزداد بعنف فيترتب على ذلك تغيرات هامة في مسلك القوس إذ تسهل عملية الانبعاث ويستقر القوس ويمكن بدئه عن جهد منخفض نسبياً وهو أمر يتيح استخدام التيار المتردد (الذي ينطفي 100 مرة في الثانية في توليد قوس اللحام . وينشأ عن هذا التغير في مقدار هبوط الجهد الموضح في شكل (1 - 86) أن تزداد الحرارة المتولدة عند المهبط عن المصعد .

خلاصة نظرية القوس

خلصنا مما سبق إلى ما يلي :

- القوس هو تفريغ كهربائي مداوم خلال غاز متأين
- يبدأ التفريغ باندفاع الإلكترونات من المهبط الساخن
- يداوم اندفاع الإلكترونات باستمرار التأين الحرارى للغاز (حجم القوس) الساخن
- ينتقل الجهد الكهربائي إلى الإلكترونات ثم يتحول إلى حرارة فى الغاز بواسطة الاصطدام .
- الأيونات الموجبة المتولدة من اصطدام الذرات تصدم المهبط ومن ثم تحافظ على سخونته عند درجة حرارة الانبعاث .

وبمعنى آخر وبالتبسيط الشديد تتولد الحرارة من مصدر الطاقة الكهربائية عن طريق القوس الكهربائي بتأين شغرة ضيقة (حيز القوس) وتوليد أيونات موجبة تندفع نحو القطب السالب (المهبط = الكاثود) والإلكترونات سالبة تندفع نحو القطب الموجب (المصعد = الأنود) وتحدث تصادمات عديدة بين الإلكترونات والأيونات تتولد عنها حرارة كما تتولد حرارة من جراء تصادم الأيونات مع المهبط وتصادم الإلكترونات مع المصعد .

العلاقة بين الجهد والتيار الكهربائي ودرجة حرارة القوس

يمكن تقسيم الأقواس الكهربائية الشديدة (والتي منها القوس الكهربائي المستخدم فى عمليات اللحام) إلى ثلاث مناطق محددة وهى منطقة المهبط ومنطقة وسط أو جسم القوس ثم منطقة المصعد . وتتصف منطقتا المهبط والمصعد بطول المسار الحر المتوسط للإلكترونات (تبلغ نحو 10^{-3} cm) فى الهواء تحت ضغط جوى وعند درجة حرارة 5400°K ، كما تتصف منطقة المهبط بازدياد حامها بالشحنات (الأيونات) الموجبة المتراكمة بينما تخلو منطقة المصعد منها ، ومن ثم تحتاج الإلكترونات إلى قوة دافعة كهربائية كافية لتنتزعها عبر منطقة المهبط وكذلك لغزو منطقة التى تنبعث منها الإلكترونات عند المصعد (الانبعاث الأيونى الحرارى Thermoionic) . أما منطقة وسط القوس فإن ازدياد حامها بكل من الأيونات والإلكترونات يكون متوازنا وتتصف بتوصيلتها الكهربائية العالية ولا يوجد هبوط يذكر فى الجهد الكهربائي على طولها شكل (1 - 86)

ولما كانت هذه المناطق الثلاث تقع متتالية فإن التيار المار بها يكون متساويا وعلى ذلك تتوقف كمية الطاقة المتولدة فى كل منطقة على مقدار هبوط الجهد

عندها ($P = I \cdot \Delta V$) .

ورغم أن هبوط الجهد يكاد يكون متساويا عبر المنطقتين الضيقتين للمهبط والمصعد إلا أن جزءا كبيرا من الطاقة عند المهبط تبذل فى تحرير الالكترونات منه (تبخرها) وهذه الحرارة تذهب فى الحقيقة إلى المصعد حيث تأوى الالكترونات (تتكاثف) وتتناسب هذه الطاقة الحرارية (للتبخر أو للتكثيف) على دالة شغل السطح المعنى وتقع فى حدود (4 eV) أنظر جدول ($1 - 83$) بينما يقع هبوط الجهد عند الالكترود فى حدود 10 V كما أنه نتيجة لذلك نتوقع أن يصبح المصعد أكثر سخونة من المهبط كما سبق التنويه اليه .

وهذه الحرارة المركزة نسبياً فى المصعد لا تكون مركزة فى بقعة واحدة كما هو الحال فى المهبط فعلى النقيض من ذلك فإن تيار الالكترونات يفضل أن يذهب إلى المناطق الباردة من مقطع المصعد والتي تتفق مع أقصر طول للقوس لأن الشحنات السالبة المتولدة بالانبعاث الأيونى الحرارى تكون ضعيفة عند المناطق الباردة ومن ثم فإن سخونة المصعد تكون متوزعة على مساحة كبيرة (نسبياً) من مقطعه .

أما جسم القوس فإنه دائم فى فقدته للحرارة بالتوصيل والحمـل والاشعاع وتكون الحرارة المفقودة بالتوصيل نتيجة للانتشار السريع للذرات والأيونات والالكترونات الساخنة فى الوسط الغازى البارد المحيط بجسم القوس .

وهذه الحرارة شأنها شأن معظم حرارة الاشعاع تذهب كحرارة مفيدة لعملية اللحام .

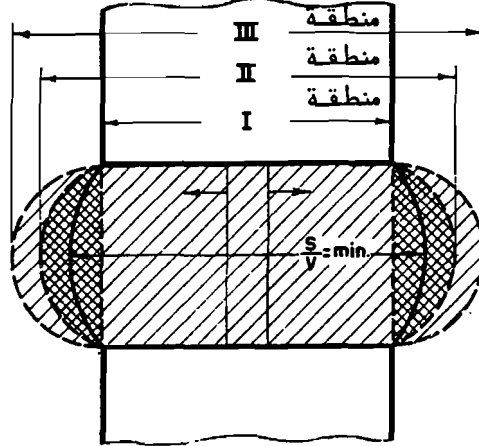
وإذا أشعل قوس كهربائى بين سلكين من الحديد فى الهواء الجوى فإن درجة الحرارة تكون عند المصعد 2300°C وعند المهبط 2100°C مع ملاحظة أن وسط المهبط (الذى يطلق عليه بقعة المهبط Cathode Spot) يكون أكثر سخونة من المهبط ذاته (يغلى الحديد عند 3000°C) .

وتكون درجة الحرارة في جسم القوس في حد ود 6000°K ومن ذلك يتضح أن منطقة جسم القوس هي أكثر المناطق سخونة في حين أن أكبر كمية من الحرارة تتولد عند المصعد ، وتكون الحرارة عند وسط المهبط أكثر تركيزا .

وتعتبر هذه الحقيقة على غاية كبرى من الأهمية في عمليات اللحام كما سيأتى شرحه .

ويلاحظ أن هبوط الجهد المبين في شكل (1 - 86) إنما هو لمادة معينة للالكترود ولتيار وطول قوس معينين .

ويترتب على تغيير مادة الالكترودات تغيير كل القيم على المناطق الثلاث بينما يؤثر تغيير التيار وطول التيار وطول القوس على هبوط الجهد على منطقة جسم القوس فقط . فيقل هبوط الجهد بازدياد التيار (عند ثبات طول القوس) وذلك عند التيارات المنخفضة إلا أن الجهد يظل ثابتا تقريبا عند حد ود التيارات المستخدمة في اللحام شكل (1 - 86) وهو أمر يتعارض مع قانون أوم حيث يتناسب هبوط الجهد مع التيار .



شكل (1 - 90)

وقد أمكن للعالم نتجهم إيجاد العلاقة التالية بين الجهد والتيار حتى حد ود تيار قدره 50 A

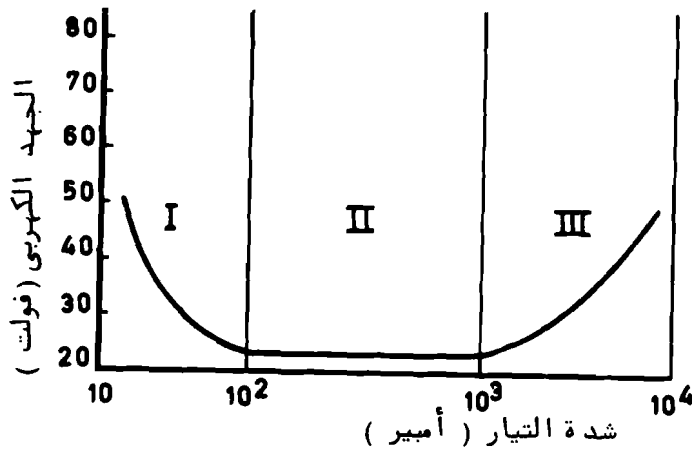
$$V = A + B / I^n$$

A = ثابت يمثل مجموع هبوط الجهد عبر الالكترونات
 n = ثابت يتراوح بين 0,26 ، 1,3 الالكترونات أو أجواء
 قوس مختلفة
 B = ثابت يحدد بالتجارب

ويعزى انخفاض الجهد بازدياد التيار إلى الشكل الهندسي للقوس وبالذات نسبة المساحة السطحية إلى الحجم لشكل أسطوانة (شكل جسم القوس) فتتخف النسبة بازدياد قطر الأسطوانة (عند ثبات الارتفاع) وعلى ذلك فإن القوس شديد التيار والثخين في قطره يكون فقره أقل في الحرارة لكل وحدة حجم لكل فرق درجة حرارة واحدة ويكون القوس في مجموعه ساخنا وتوصيلته عالية وذلك مقارنة بالقوس النحيل في قطره المنخفض في تياره .

وعند زيادة تيار القوس فوق حد ود معينة فإن جسم القوس يتخذ شكلاً يقرب من الكرة أو الشكل الكروي المفلطح ويبتعد عن الشكل الأسطوانى شكل (1- 90) وهذا الشكل الكروي يؤدي إلى زيادة المساحة المتوسطة الموصلة للتيار بزيادة التيار كما أن بعض مسارات التيار (المتفلطح المنبعج منها) تطول عن طول القوس ذاته . وبأخذ هذين العاملين في الاعتبار فإننا نخلص (على ضوء نظرية التوصيل) إلى علاقة تطور الجهد V مع شدة التيار I وهو ما يوضحه

شكل (1 - 91)



شكل (1 - 91)

إذ يبدو واضحاً أن جهد اللحام (فى الحديد) يكاد يظل ثابتاً على نطاق كبير من شدة التيار 50 الى 500 A ولحسن الحظ تتم معظم عمليات اللحام فى هذا النطاق .

تغير الجهد الكهربائى على مدى طول القوس

يتضح مما سبق أن جهد القوس لا يتوقف على شدة تيار القوس فى المدى المستخدم فى عمليات اللحام ويعزى ثبات الجهد فى هذا النطاق إلى أن ازدياد التوصيلية الذاتية لجسم القوس مع زيادة التيار يكاد يعوضها ويوازىها زيادة مسار التيار (زيادة الطول الفعال للقوس) عند ما يتغلطح (ينبعج) القوس ومن ثم فإننا نتوقع على هذا الأساس تأثر جهد القوس بطوله (المسافة بين الألكترود والشغلة) .

إلا أن هبوط الجهد لا يتأثر بطول القوس ولا بالتوصيلية الذاتية لجسم القوس كثيراً . وعلى هذا الأساس أمكن إيجاد العلاقة التالية التى تربط الجهد لمادة الكترود معينة وجو معين لجسم القوس مع طول القوس .

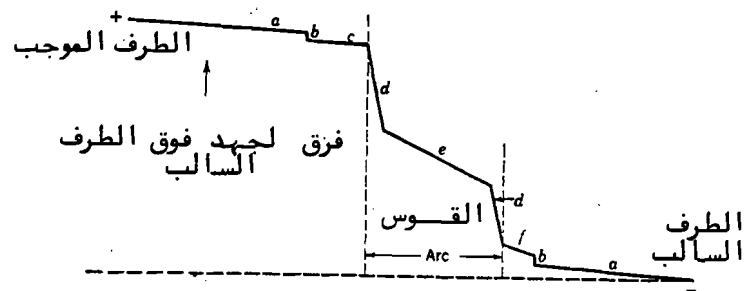
$$V = C + D\ell$$

C = ثابت يحتوى هبوط الجهد ويتوقف على خواص الانبعاث للمهبط وكذلك على جهد التأين للغاز (جو القوس) .

$D\ell$ = هبوط الجهد فى جسم القوس (يتوقف الثابت D على التوصيلية الذاتية لجسم القوس وعلى شكل القوس) ،
(ℓ = طول القوس) .

دائرة اللحام بالقوس الكهربائى

يوضح شكل (1 - 93) تغير الجهد عبر الدائرة الكهربائية المولدة للقوس .



شكل (1 - 93)

وذلك عند استخدام التيار المستمر أو التيار المتردد بأخذ متوسط جذر مربع الجهد Root Mean Square Voltage Drops . ويلاحظ أن توزيع هبوط الجهد هنا يتمثل في الكبلات (مفقود) ومواقع التوصيل (مفقود) والمشغولة (مستفاد ولكن بكفاءة رديئة) وسطح الالكترود (مستفاد بكفاءة) وجسم القوس (مستفاد بكفاءة رديئة) وأخيراً المقاومة الأومية للالكترود .

ويمكن الحد من مفاهيم الكبلات بحيث تظل في حدود 2 فولت إذا أمكن المحافظة على كثافة التيار في الكبلات في حدود قصوى لا تزيد عن 2 A/mm^2 علما بأن تجاوز هذه الكثافة يؤدي بجانب هبوط الجهد إلى إتلاف مواقع الاتصال وكذلك العزل .

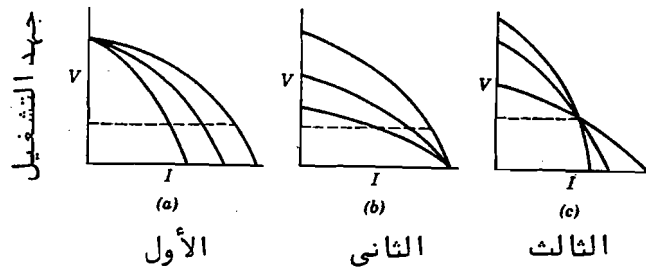
استخدام التيار المستمر في عمليات اللحام

يتصفُ التيار المستمر بعدم إمكان تحويل جهده كما يحدث في التيار المتردد بواسطة المحولات ولذلك فإن التيار المستمر اللازم لعمليات اللحام يستمد إما من مولد يديره محرك حراري (ديزل أو بنزين) أو من وحدة محرك مولد (محرك حتى يعمل بالتيار المتردد ويركب على محوره مولد للتيار المستمر بالجهد والتيار المطلوبين) ويجب أن يكون منحني خواص الجهد مع التيار لهذا المولد طفيف الانحدار ليوامم المتطلبات غير العادية في القوس الكهربائي . كما يجب أن تكون استجابة المولد للتغيرات المفاجئة في الحمل والتي تحدث عادة في عمليات اللحام بالقوس

، وتكون الاستجابة سريعة . وتتصف مولدات التيار المستمر المعتادة بالخاصية الأولى (انحدار منحنى الخواص) وأن تكون استجابتها للحمل بطيئة . إلا أنه يوجد نوع من هذه المولدات يمكنه الجمع بين المتطلبين المذكورين باستخدام طريقة التحويل Diverting بدلاً من طريقة خفض قوة المجال عند زيادة شدة التيار . وبذلك يمكن لهذا المولد أن يتولى تحسين خواص الانبعاث والتأين بجانب استقرار القوس .

وإنه لمن المعلوم أن دوائر القوس الكهربائي تتعرض من حين لآخر للقصر فيها (قصر التيار) ولذلك فإن على مصدر التيار أن يتحمل تيار القصر هذا لفترة معقولة من الزمن دون أى عطب . وبجانب ذلك يجب أن يكون جهد الدائرة المفتوحة أعلى بقدر مقبول من جهد الدائرة جهد التشغيل (أثناء اشتعال القوس) وذلك حتى يتسنى إشعال القوس بكفاءة عالية ويجب أن يكون الفرق بين الجهدين (الدائرة المفتوحة وجهد التشغيل) قابل للتحكم فيه من قبل عامل اللحام .

ومن ثم تصبح منحنيات الخواص للمصدر على النحو المبين فى شكل (1 - 94) الأول: عند ما يكون جهد الدائرة المفتوحة ثابتاً

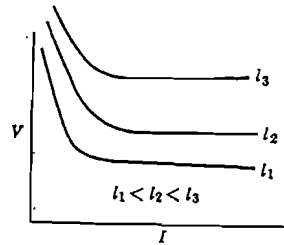


شكل (1 - 94)

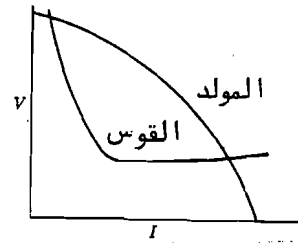
بينما يكون تيار القصر متغيراً والثاني: عند ما يكون جهد الدائرة المفتوحة متغيراً وتيار القصر ثابتاً والثالث: عند ما يكونا كليهما متغيراً ويلاحظ أن هذه المنحنيات مأخوذة من خواص المولد ولا تَمُتُّ للحمل أو للقوس بأى صلة .

وتتوقف منحنيات خواص القوس على التفاعلات الكيميائية به وعلى شكل القوس ذاته ويبين شكل (1 - 95) تخطيطاً لمنحنيات خواص قوس عند أطوال مختلفة للقوس .

وعند توقيع منحنى خواص (سمات) المولد ومنحنى القوس على بعضهما البعض فإننا نحصل على المنحنى شكل (2 - 95) والذي يبرز أن المولد سيعمل بصورة مستقرة عند أى قيمة للتيار والجهد تقع على المنحنى الخاص به (عند ثبات المجال) وكذلك الحال بالنسبة للقوس ولذا لك فان نقطتي تقاطع المنحنيين تكون هي النقط المشتركة التي توفى بمتطلبات استقرار كل من المولد والقوس إلا أن نقطة التقاطع العليا (على اليسار) لا تكون نقطة عملية بسبب ارتفاع الجهد ونقص التيار وهو أمر غير مطلوب فى اللحام بالقوس ولذا لك تبقى نقطة تقاطع وحيدة هي السفلى (على اليمين) .



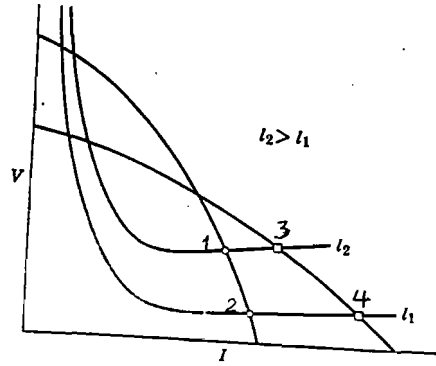
شكل (95-1)



شكل (95-2)

وبوضح شكل (1 - 96) منحنيين لمولد بين مختلفين احدهما ذو وسمة منبسطة والاخرى منحدره وكذلك منحنيين لقوسين بطولين مختلفين والذي يتضح منه في نقط التقاطع السفلى ذات الدوائر يكون تغير التيار فيها ضئيلاً مع تغير طول القوس بالنسبة للمولد المنحدر السمات على

عكس المنبسط السمات .



شكل (1-96)

كما أن التقاطع عند نقطة (3) يكاد يقرب من حد النهاية إذ أنه بزيادة طول القوس يمكن أن لا يتقاطع المنحنيان ومن ثم لا تقوم للقوس قائمة . ويمكن أن نخلص من ذلك القول أنه رغم الخواص المنبسطة للمولد تولد قوسا مستقرا إلا أن القوس سيصعب التحكم فيه وفي الحرارة المتولدة منه عن طريق زيادة طوله . وبصفة عامة تتصف الأقواس الكهربائية بالتيار المستمر بأنها أكثر استقرارا عن أقواس التيار المتردد إلا أن تكاليف الحصول على التيار المستمر أعلى بكثير من التيار المتردد التي يسهل الحصول عليه بالقيم المطلوبة من خلال المحولات .

القدرة في القوس

إن أهم المتغيرات التي تؤثر في عملية اللحام ليس فقط درجة الحرارة بل مقدار كمية الحرارة المتولدة في وحدة الزمن . ولما كانت الطاقة المتولدة عبارة عن حاصل ضرب شدة تيار القوس في الجهد المستخدم .

وهذا الجهد يتأثر بطول القوس ولما كان من المعروف أنه من الصعب التحكم فى طول القوس فى حالة اللحام اليدوى ولإدراك مدى تأثير وضع انضباط (Setting) المولد ومنحنى خواص القوس على حساسية قوس اللحام عند تغير طول القوس يمكن إجراء التحليل المبسط التالى .

بافتراض أن منحنى خواص المولد هو خط مستقيم منحدر (للتبسيط) وحينئذ يمكن وضع العلاقة الممثلة لهذه الخواص بالصورة التالية :

$$V = V_0 \left(1 - \frac{I}{I_s} \right) = V_0 - sI \quad \dots\dots 1$$

جهد الدائرة المفتوحة = V_0

تيار القص = I_s

$$\text{ميل خط الانحدار للخواص} = \frac{V_0}{I_s} = s$$

ومن المعلوم أن الجهد لا يتوقف على شدة التيار فى حدود القيم المستخدمة فى عمليات اللحام المعتادة (50 إلى 500 أمبير) وإذا افترضنا أن خواص القوس تحكمه علاقة خطية مستقيمة كما يلى :

$$V = C + D\ell$$

$$\dots\dots 2$$

طول القوس = ℓ

ثوابت = D, C

وبالتعويض بقيمة V فى العلاقة (1) نحصل على علاقة توضح أن شدة التيار تتغير بتغير طول القوس

$$I = \frac{V_0 - (C + D\ell)}{s} \quad \dots\dots 3$$

ويكون معدل تغير التيار بالنسبة للطول $\frac{dI}{d\ell}$ مساويا للمقدار $\left(-\frac{D}{s} \right)$

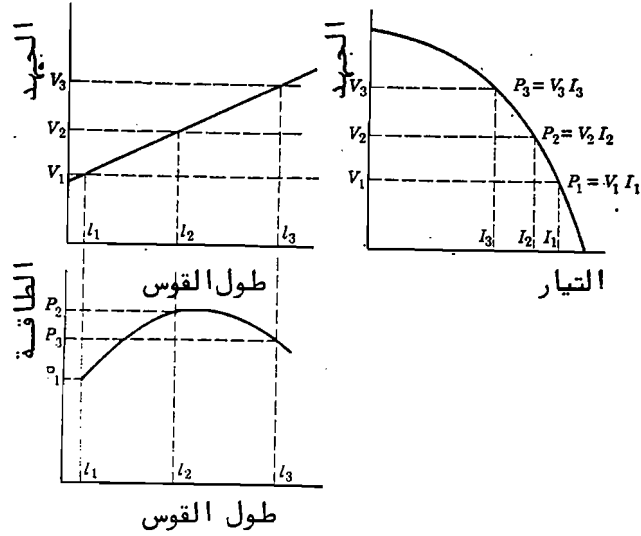
ولما كان استقرار القوس يتوقف على خواص علاقة الجهد وشدة التيار كما فى شكل (1 - 98) فإننا نرى الآن أنها ترتبط كذلك بخواص علاقة الجهد وطول القوس . ولذلك فإننا نتوقع أن القوس ذى الخواص البيانية المنبسطة (ميل خطه البيانى ضئيل) يمكن أن يعوض عدم الاستقرار الذاتى الذى يتصف به المولد ذى الخواص البيانية المنبسطة

على هذا المنهج يمكن أن نتبين أن طاقة القوس تتغير بتغير طولها ولما كانت الطاقة هى حاصل ضرب شدة التيار فى الجهد فإننا نحصل

على الطاقة P بضرب المعادلتين (2 ، 3) بعضهما
فى بعض

$$P = \frac{(C + D\ell) [V_0 - (C + D\ell)]}{s}$$

وهى صيغة تشبه الشكل الرياضى (1 - x) وهى دالة
لها نهاية عظمى عند قيمة معينة لطول القوس شكل (1 - 98)



شكل (1 - 98)

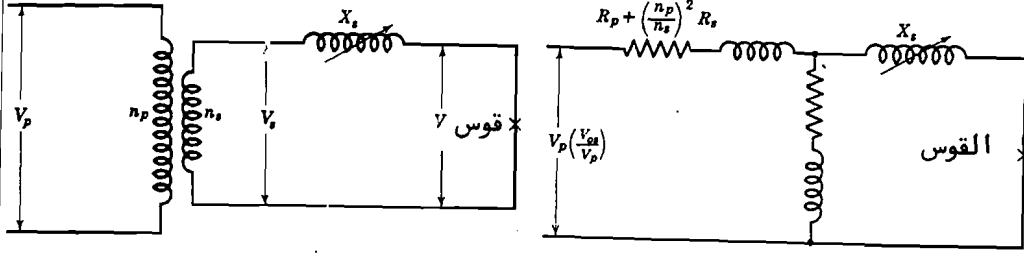
ويمثل الثابت (C) مقدار الانحدار عبر الالكترونات والمستفاد به
بكفاءة عالية أما المقدار ($D\ell$) فيمثل الانحدار عبر جسم القوس
وهو ردىء الاستفادة نسبياً . ولذلك فإن طول القوس الأمثل يكون
أقل قليلاً من مقدار طول القوس الذى يتفق عند الطاقة القصوى .
وهذه الحقيقة بنيت على أساس افتراض الخواص البيانية المستقيمة
للمولد وهو أمر لا يصادف الحقيقة بل أنها تسلك خطاً منحنياً
لا توجد له معادلة معينة . ورغم ذلك فإنه إذا استطعنا الحصول
على منحنى الخواص للمولد فإننا نستطيع بواسطة الرسم تحديد

الخواص البيانية لكل من التيار - طول القوس والطاقة - طول القوس ولتحديد شدة التيار عند طول قوس معين فإننا نحسب أولاً جهـد القوس من المعادلة (2) ثم استنتاج شدة التيار من منحنى خواص المولد .

ولما كانت العلاقة بين الجهد - طول القوس ($V - l$) للقوس تحدد الجهد الذى يمكن للقوس أن يشتعل عنده ، والعلاقة بين ($V - I$) للمولد (عند وضع ضبط معين) تعطى قيمة التيار عند هذا الجهد . فإن هاتين العلاقتين تحدد لنا منحنى خواص الطاقة - طول القوس ($P - l$) لأى قيم أزواجية بين القوس والمولد وشكل (1 - 98) طريقة رسم المنحنى ($P - l$) وهو منحنى له أهميته ودلالته فى اللحام بالقوس الكهربائى بالالكترود المستهلك .

مصادر التيار المتردد

تعتبر محولات التيار المتردد أهم المصادر المستخدمة فى اللحام بالتيار المتردد ومنها الأنواع الرخيصة مثل محول أوتو الذى يحتوى على ملف مفاعل واحد به عدة نقاط خروج لتغيير جهد الخروج بالنسبة للجهد الابتدائى ويمكن الحصول من هذه المحولات على منحنى خواص منحدر باستخدام مفاعله (مقاومة مفاعله Reactance) بالتوالى مع القوس مع إضافة مكثفات بالتوازى مع الملف الابتدائى لتصحيح معامل القدرة المنخفض Power Factor وتكون مفاعله القدرة التوالى إما ملف مفاعل متغير فى الدائرة الثانوية أو يصمم المحول ليكون له مفاعلة تسرب كبيرة ومتغيرة شكلاً (1 - 100) وتحدد نسب لفات المحول الابتدائية والثانوية جهد الدائرة المفتوحة بينما يتحدد تيار القصر بقيمة المفاعلة .



شكل (1 - 100)

شكل (2 - 100)

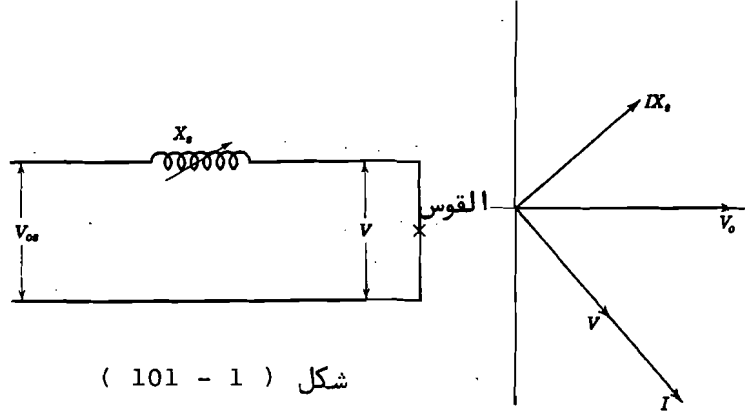
الدوائر المعادلة ومنحنيات خواص الجهد وشدة التيار V-I

إنه من السهل على المهندس أن يبسط حسابات التيار المتردد عند ما يحاكي ذلك بإحلال دوائر معادلة لا يدخل فيها المحاثات المتبادلة Mutual Inductance بين اللفات المعزولة محل المحولات وعلى هذا الأساس يمكن على سبيل المثال أن تحل الدائرة المرسومة في شكل (2 - 100) محل الدائرة السابقة المرسومة في شكل (1 - 100) ويعطى شكل (1 - 100) دائرة إحلال أخرى مقربة .

وتتشابه منحنيات الخواص لمحولات تيار اللحام مع نظيرتها الخاصة بمولدات التيار المستمر للحام . ويمكن على أساس الدائرة المعادلة في شكل (1 - 101) إيجاد العلاقة الرياضية الممثلة للخواص ، فإذا كان الجهد المقاس عند الملف الثانوي لمحول اللحام (V) فإنه يمكن نسبته إلى جهد الدائرة المفتوحة V_{oc} طبقاً للعلاقة التالية لمجموع المتجهات .

$$V_{oc} = V + IX_s \quad \dots\dots 4$$

وإذا أهملنا محاثة الكبلات والقوس الخ فإن الجهد V سيكون في توافق مع التيار . ولما كانت القيمة X_s هي محاثة خالصة فإن قيمة متجه الجهد (IX_s) سيكون عموديا على متجه التيار شكل (101-1)



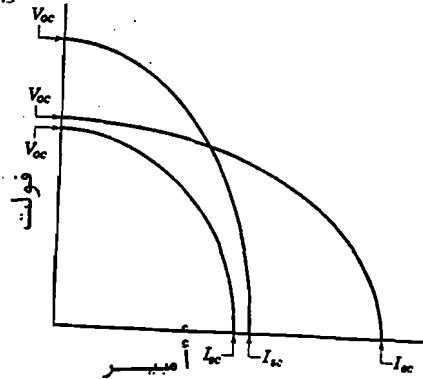
شكل (101 - 1)

مخططا التجهيزات لمحول لحام
عند التشغيل

وعلى هذا الأساس تصبح العلاقة (4)
أو $V_{oc} = \sqrt{V^2 + (IX_s)^2}$

$$V = \sqrt{V_{oc}^2 - (IX_s)^2} \quad \dots\dots 5$$

ويمكن تمثيل هذه العلاقة بين (I, V) بحيث يغلقها ربع قطع ناقص شكل (101 - 2) فيبدأ المنحنى عند جهد الدائرة المفتوحة V_{oc} على محور الجهد الرأسى . ويتقاطع مع المحور الأفقى للتيار عند تيار القصر $(I = V_{oc} / X_s)$



شكل (101 - 2)

ويوضح هذا الشكل أيضا مجموعة نمطية من هذه المنحنيات لمحولات لحام . ويمكن التطور بهذه المنحنيات لرسم العلاقات بين التيار - طول القوس وكذا لك الطاقة - طول القوس للمحولات بحمل القوس كما يلي :

$$(V/V_{oc})^2 + (IX_s/V_{oc})^2 = 1 \quad \dots\dots 6$$

وإذا عوضنا عن $\frac{V_{oc}}{X_s}$ بتيار القصر I_{sc} (عند القصر التام) فإننا نحصل

$$(\frac{V}{V_{oc}})^2 + (\frac{I}{I_{sc}})^2 = 1 \quad \dots\dots 7$$

وبالتعويض عن قيمة V من المعادلة 1 فإننا نحصل على علاقة $I - l$

$$\frac{I}{I_{sc}} = \sqrt{1 - (\frac{C + D l}{V_{oc}})^2} \quad \dots\dots 8$$

على هذا النسق تكون علاقة $P - l$

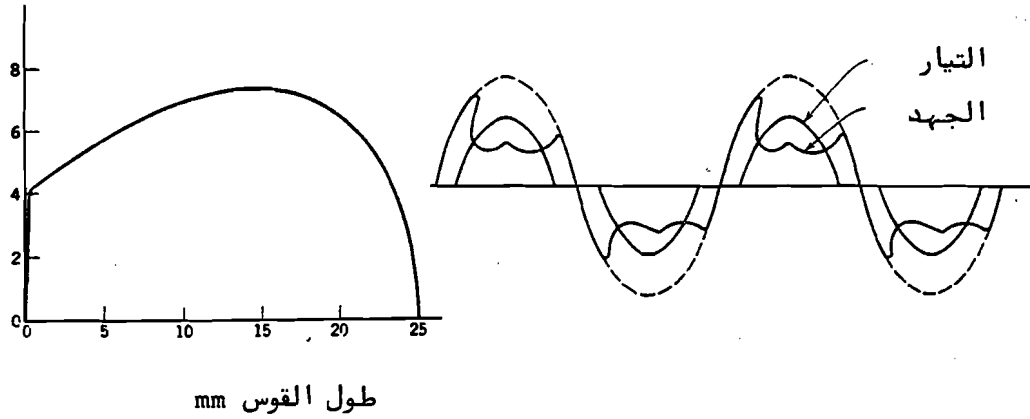
$$P = (\frac{I_{sc}}{V_{oc}})^2 (C + D l) \sqrt{V_{oc}^2 - (C + D l)^2} \quad \dots\dots 9$$

وشكل (1 - 103) يبين تمثيلا لهذه العلاقة لقيمة $(V_{oc} = 70 V)$

$$D = 2 V/mm , \quad C = 20 V , \quad (I_{sc} = 210 A)$$

وبلاحظ أن هناك تشابه بين هذا الشكل وشكل (1 - 98)

هذا وقد بيد و للوهلة الأولى أن ظروف القوس الكهربائي من مصدر تيار متردد تختلف في جذورها عن مصادر التيار المستمر بسبب تعرض القوس للانطفاء مائة مرة في الثانية (إذا كان التردد = 50 HZ) وانعكاس قطبيته إلا أن إدراك حقيقة أن استجابة القوس للتغيرات التي يتعرض لها (مثل شدة التيار وطول القوس) ووصوله إلى حالة الاتزان تكون سريعة جدا (في حدود 0.001 ثانية) ولذلك يمكن تطبيق علاقات التيار المستمر على التيار المتردد في كل نصف دورة (انظر العلاقات 8 , 9) . وشكل (2 - 103) يبين رسمًا نمطيا براسم الذبذبات Oscillograph لكل من الجهد والتيار.



طول القوس mm

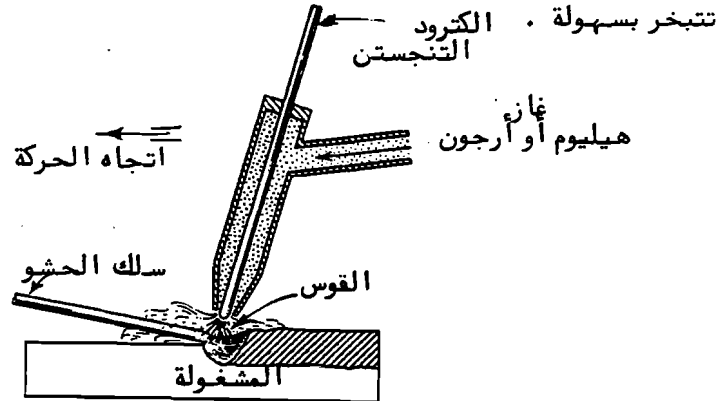
شكل (1 - 103)

شكل (2 - 103)

اللحام باستخدام القوس الكهربائي والغازات الخاملة والكترود والتنجستن

Inert-Gas-Shielded Tungsten Arc Welding (WIG = TIG)

تعتبر هذه الطريقة حديثة نسبياً في استخدامها ، ففي بادئ الأمر استُخدمت في لحام المغنسيوم ثم تطورت وامتدت إلى لحام الألومنيوم والنحاس ثم الصلب المقاوم للصدأ والسبائك التي تتحمل الحرارة العالية . ويمكن في الحقيقة استخدامها في لحام كل الفلزات والسبائك التي لا تتبخر بسهولة .



شكل (3 - 103)

ويصنع الالكترود فى هذه الطريقة من التنجستن لصعوبة انصهاره أو احتراقه تحت ظروف اللحام ويولد القوس الكهربائى بين الكترود التنجستن والمشغولة ويحاط القوس بغلاف واق (جو) من غاز خامل كالهيليوم أو الأرجون .

ويعطى الهليوم فى العادة قوساً مرتفعاً فى درجة حرارته بعكس الأرجون .
والشكل (3 - 103) يوضح تخطيطاً لهذه الطريقة .

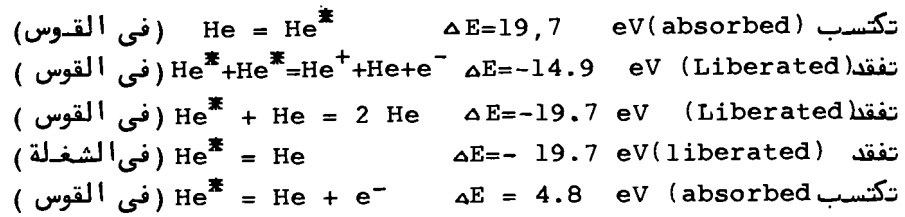
وإن من أهم واجبات الغازات الخاملة فى هذه الطريقة هى منع الأكسدة (للمناطق المنصهرة فى وصلة اللحام) أثناء اللحام بكونها تغلف أو تحيط بالوصلة مانعة تدخل أكسجين الجو .

وتلعب الغازات الخاملة فى الحقيقة دوراً آخر فى القوس الكهربائى لا يقل أهمية عن ما سبق وهو ما يختص بعملية التأين السابق شرحها . ولتوضيح ذلك نأخذ حال غاز الهليوم التى يتكون من ذرات أحادية وليس من جزيئات كالهدروجين أو النيتروجين فهو لذلك لا يتعرض لتحلل ما . وبجانب ذلك يتميز غاز الهليوم (والأرجون كذلك) بظاهرة هامة وهى إمكان تواجد ذراته فى حالة مثارة Excited لفترة طويلة نسبياً .

وهذه الحالة المثارة تبعد الغاز عن حالة الاستقرار التام فيصبح شبه مستقر Metastable بعكس حالته العادية . وهذه الحالة غير المستقرة تضع الغاز فى وضع وسط بين الحالة المستقرة Stable وحالة التأين Nonstable وهذه الحالة المثارة فى الهليوم (وكذلك الأرجون) لها صفة عدم الرجوع الذاتى لحالة الاستقرار بسهولة أى أن الالكترونات المنتقلة إلى مدارات أبعد لا تعود بسهولة إلى مداراتها الأصلية معطية طاقتها الانتقالية بل هى تفعل ذلك فقط عند اصطدام الذرات المثارة ببعضها البعض والذرة المثارة فى الهليوم ترتفع بمستوى طاقتها عن الذرة المعتادة بمقدار 19,7 إلكترون فولت .

(إلكترون فولت = 5492,4 جول / مول)
وتقل عن طاقة التأين بمقدار 4,8 إلكترون فولت ويمكن تمثيل

تفاعلات الاصطدام كما يلي (يرمز إلى الذرة المثارة He^* والمتأينة He^+



$23000 \text{ eV} = \text{كيلو كالورى / مول}$
 ويمكن بالمثل كتابة تفاعلات مماثلة لغاز الأرجون باعتبار أن
 ذرة الأرجون المثارة تزيد فى طاقتها عن الذرة المعتادة بمقدار
 11.5 eV الكرون فولت . ويلاحظ من هذه التفاعلات أن تأين
 الذرات المثارة أسهل من الذرات المعتادة وأن التصادم بين ذرتين
 ماثرتين يؤدي بسهولة إلى تأين أحدهما .

ويعتبر هذا من أهم أسباب استقرار القوس الكهربائى فى غاز
 الهليوم أو الأرجون بالرغم من ارتفاع جهد التأين اللازم لهم (أنظر
 جدول جهد تأين العناصر) .

وكما سبق التنويه إليه تعتبر أهم واجبات الغازات الخاملة هى منع
 الأكسدة ويمكن بالإضافة إلى ذلك اعتبار أنها تؤدي إلى تنظيف وصلات
 اللحام أثناء اللحام وهذا التنظيف يتم فى الحقيقة ميكانيكيا فى المهبط .
 ولذ لك توصل الشغلة بالقطب السالب (المهبط) إذا كان تنظيفها
 من الأكاسيد أمرا حيويا للحام . مثل الألومنيوم والمغنسيوم والكلبيون
 طبقات الأكاسيد المتكونة على أسطحها تكون صعبة فى انصهارها
 وصعبة فى اختزالها كيميائيا (لذ لك يسهل لحام هذه الفلزات
 وسبائكها باستخدام الغاز الخامل) . وبالرغم من تعدد النظريات
 التى توضح أسلوب التنظيف هذا ونجد أن بعضها يتعارض مع البعض
 الآخر إلا أنها تتفق فى وجهة نظر واحدة وهى اصطدام الذرات المثارة
 (التى أثبت قبيل المهبط مباشرة الذى يمثله نقطة اللحام المنصهرة)
 بسطح الشغلة ونزع الطبقة المؤكسدة بانطلاق الطاقة المتحررة منها
 ويستخدم فى هذه الطريقة من اللحام التيار المستمر والمتردد .

واللحام بالالكترود والتنجستن وغاز الأرجون يبسر لحام المعادن غير الحديدية بجانب الحديدية إذ أنه يغنى عن الحاجة إلى استخدام مساعد صهر ومشاكل إزالة مخلفاته ومشاكل إمكانية احتواء اللحام على شوائب محشورة به وفجوات غازية ، كما أن هذه الطريقة ليست ملوثة للبيئة إذ لا يصدر عنها غازات أو أدخنة ضارة أو شرر . ودرازاته تتميز بسلامتها وجودتها وعدم الحاجة في كثير من الأحيان إلى تشغيلها لتسويتها .

ويمكن أن يتم اللحام في كل الأوضاع المعروفة وبقد ر ضئيل من التناثر الذى يحدث مع الالكترودات المكسوة .

ولما كان الإلكترود المصنوع من التنجستن لا يستهلك وتقتصر مهمته على توليد القوس فإن الحاجة تدعو إلى حشو فجوة الوصلة بسلك حشو إضافي بأسلوب يشبه طريقة اللحام بالأكسى أستلين .

مكنات اللحام بغاز الأرجون والإلكترود والتنجستن TIG

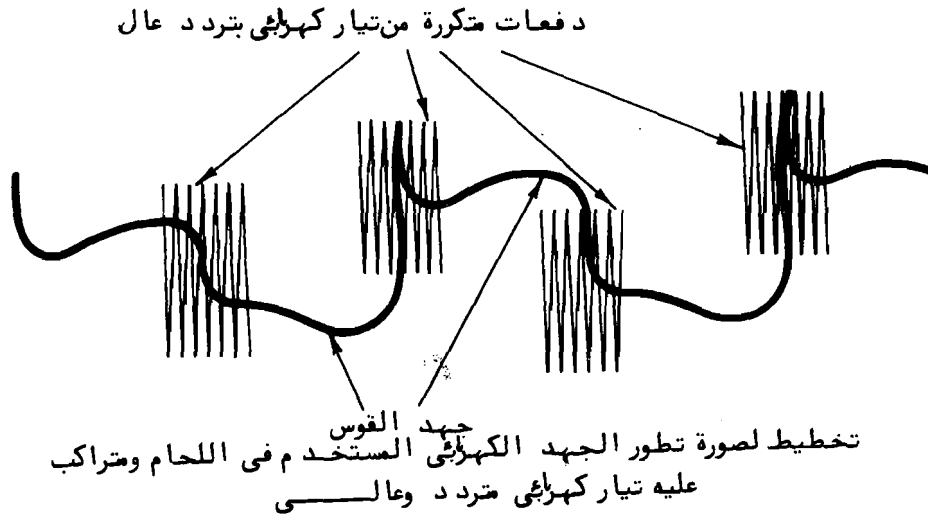
تستخدم مصادر التيار المستمر والتردد في طريقة اللحام TIG ويجب أن تتصف هذه المصادر بإمكان التحكم في مقدار شدة التيار المستخدمة وخاصة عند القيم المنخفضة لإمكان الاحتفاظ بقوس مستقر في لحام الألواح الرقيقة . وإذا كان التيار المستمر هو المستخدم في اللحام والذي يصعب التحكم في تغيير قيمته المنخفضة فإنه يمكن استخدام مقاومات تتصل بخط الأرض الموصل بين المولد والمشغولة .

أما في حالة استخدام التيار المتردد والذي يتصف بتغيير اتجاهه سريانه دوماً (مائة مرة في الثانية للتردد 50 Hz) وفي كل مرة توجد لحظة (قصيرة) لا يمر فيها تيار (= صفر انظر منحنى الجيب) وهو أمر يؤدي إلى عدم استقرار القوس وحتى انطفائه أحياناً ، ولعلاج هذه المشكلة فإن مصدر التيار سواء كان محولاً للتيار أو مولداً له يعزز بوحدة إضافية لتوليد تيار إضافي ذي تردد مرتفع .

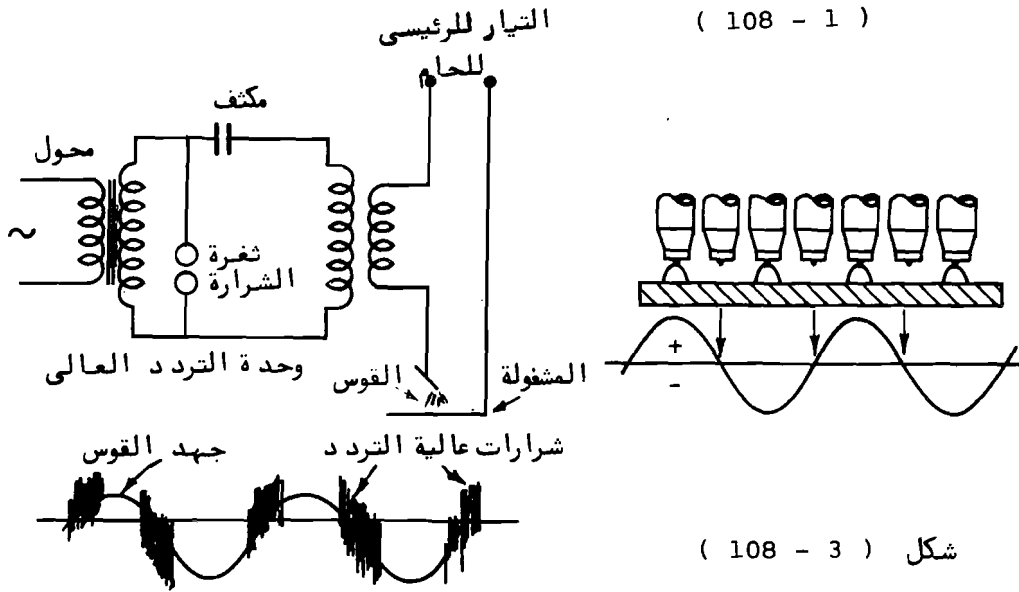
ولذلك تجهز وحدات (مكينات) توليد التيار بمقاومات في حالة التيار المستمر وبوحدة تردد عال للتيار المتردد بالإضافة توصيلة لماء التبريد اللازم لحامل الالكترود (البورى)

وبجانب ذلك تعتبر عملية بدء القوس الكهربائي في هذه الطريقة باستخدام الكترود التنجستن عملية غير مألوفة إذ أن حرك الإلكترود يعرضه للبرى (التنجستن مرتفع جدا في ثمنه) كما أنه يترك أثارا على المشغولة تتسبب مع درزة اللحام وتكون مركبات قصيفة فتتدهور الخواص الميكانيكية للوصلة الملحومة لذلك يُلجأ إلى توليد القوس باستخدام وحدة تيار كهربائي ذي جهد وتردد مرتفعين فيعمل هذا التيار على تأين الغاز الموجود في جسم القوس وإشعاله عبر الثغرة الموجودة (بضعة مليمترات) دون الحاجة إلى ملاسة الإلكترود بالمشغولة . وتتصل هذه الدائرة الإضافية بالدائرة الأصلية شكل (2 - 108) سواء كانت دائرة تيار مستمر (هنا يكفي إشعال القوس بالوحدة الإضافية ثم فصل الوحدة الإضافية المومينة) أو كانت تيار متردد وفي هذه الحالة يجب أن تبقى وحدة التردد المرتفع عاملة طوال الوقت للمساعدة على تأين ثغرة القوس عند مرور التيار بالصفـر (وهذا يحدث مائة مرة كل ثانية في التيار المتردد 50 HZ)

ولما كانت وحدات توليد التيار الكهربائي ذي التردد المرتفع مكلفة فإنه يكفي في هذه الحالة استخدام وحدات تولد دفعات Pulses ذات تردد مرتفع وتضبط لحظات إصدار الدفعات بحيث تتزامن مع اللحظات الحرجة التي يمر بها تيار الدائرة الأصلية للحام بنقط الصفر شكل (1,3 - 108) أي اعطاء نبضة كل واحد من مائة من الثانية . وتتولد هذه الدفعات ذات التردد المرتفع بوحدة توليد شرارة عادية والتي يحقق تردد ها مهمة التردد المرتفع في الوحدات المكلفة .



(108 - 1)



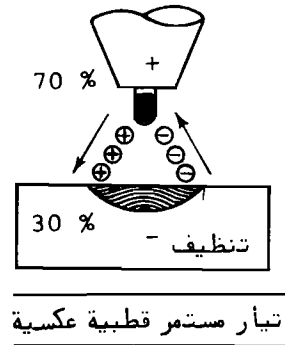
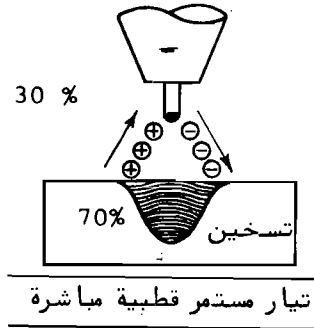
شكل (108 - 3)

شكل (108 - 2)

ويخضع اختيار نوع التيار وقطبيته إلى عدة عوامل ومتغيرات حسب معدن المشغولات وشكلها وأبعادها ويمكن إيضاح ذلك على النحو التالي :

أولا : التيار المستمر قطبية عكسية (الإلكترود موجب)

تسرى الإلكترونات في هذه القطبية من المشغولة إلى الإلكترود وبذلك تتركز معظم الحرارة المتولدة في الإلكترود شكل (1 - 109) ولذلك فإنه للمحافظة على الإلكترود ومنعه من الانصهار يختار الإلكترود بقطر أكبر من حالة القطبية المباشرة فعلى سبيل المثال



شكل (1 - 109)

بالأيونات الموجبة للغاز (تنجذب إليها بسبب قطبية المشغولة السالبة) فتتحطم أكاسيدها وتنزع من السطح بينما يحدث العكس في القطبية المباشرة فلا يتم التنظيف في المشغولة بل في الإلكترود

يختار الإلكترود بقطر ستة مليمترات ليحمل تيار قدره 125 A بقطبية عكسية بينما يكون قطر الإلكترود 1,5 mm لنفس الظروف في حالة القطبية المباشرة ويلعب نوع القطبية دورا هاما في تحديد شكل درزة اللحام فتكون ضيقة عميقة للقطبية المباشرة ، وضحلة وعريضة للقطبية العكسية ولذلك يندرج أن تستخدم القطبية العكسية اللهم إلا في بعض لحامات الألومنيوم والمغنسيوم لكون أكاسيدها صعبة في إزالتها أو انصهارها. إذ نجد أن نوع القطبية يلعب دورا هاما في آلية تنظيف الوصلة فيكون للقطبية العكسية تأثير مباشر في تنظيف سطح المشغولة بسبب صد مها

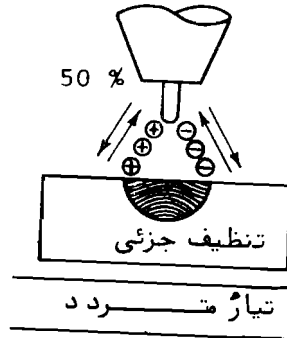
(سالب القطبية) ولذلك تختار القطبية العكسية أحيانا في الألومنيوم والمغنسيوم وسبائكهما إلا أنَّ الاختيار الغالب في لحامهما يكون بالتيار المتردد عالي التردد .

ثانياً : التيار المستمر قطبية مباشرة (الإلكترود سالب) :

تُختار هذه القطبية للحام معظم المعادن والسبائك لما تحقّقه من لحامات ناجحة وتركيز الحرارة أساساً في المشغولة الذي يتيح سرعة فائقة في اللحام مع أقل قدر من التشوه في الوصلة إذ أنَّ بركة منصهر اللحام تكون ضيقة وعميقة لتولد قدر كبير من الحرارة وصغر قطر الإلكترود . شكل (1 - 109)

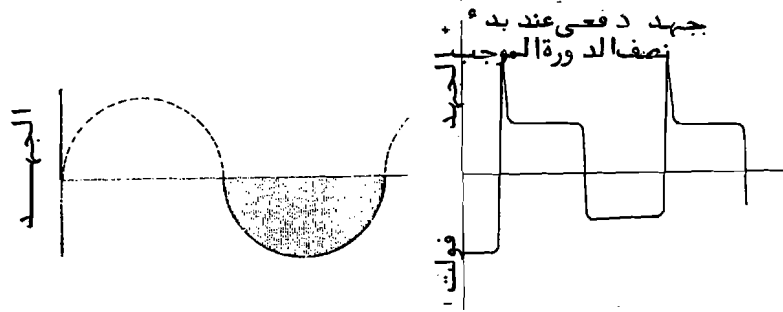
ثالثاً : التيار المتردد :

يجمع التيار المتردد خواص كل من القطبية المباشرة والعكسية في التيار المستمر شكل (1 - 110) ، إلا أنَّ الأكاسيد والقشور والرطوبة التي قد تتواجد على سطح المشغولة وتشكل عائقاً لسريان التيار الكهربائي بكامل شدته في نصف الدورة المناظر للقطبية



شكل (1 - 110)

المباشرة ، وعند ما لا يسرى تيار فى نصف دورة القطبية العكسية فإن هذه الحالة تناظر تقويم التيار Rectification بحذف نصف الدورة شكل (1,2 - 111) وهو ما يؤدي إلى عدم استقرار القوس أو انطفائه . ولعلاج ذلك يُستخدَم تيار إضافي ذي تردد عال ليتولى عبور الشفرة بين الإلكتروود والمشغولة خلال تلك الفترات الحرجة لأنصاف الدورات ويخترق طبقة الأكاسيد والعوائق الأخرى فيمر التيار الأصلي ويمكن من ناحية أخرى استخدام وحدات الحقن التدموري (الدفعي) Surge injection وتولد هذه الوحدات جهد حقن مرتفع يبلغ نحو ثلاثمائة فولت فى صورة نبضات سريعة تبلغ الفترة بينها نحو بعض ملي ثانية وقصيرة العدى (عدة ميكروثانية) تتراكب مع دائرة اللحام وتستهدف فقط تحويل أنصاف الدورات السالبة إلى أنصاف موجية وتستهدف فقط تحويل جزء من وتتميز هذه الوحدات بالعمل مع محولات التيار ذات جهد (80 V) للدائرة المفتوحة وبأنها لا تنبعث منها موجات ذات تردد عال تشوش على أجهزة الاستقبال الإذاعية والتلفزيونية .



شكل (1 - 111)

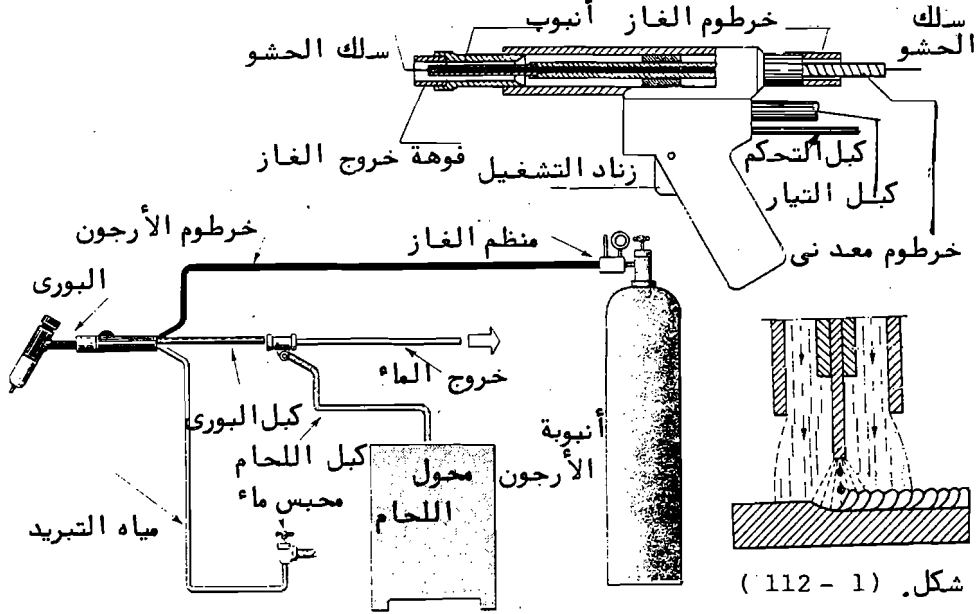
شكل (2 - 111)

وتتكون هذه الوحدات من موحد للتيار يمد دائرة بها مقاومة ومكثف بالتيار المستمر ويتولى صمام تنظيم نبضات قصيرة ثم يتولى صمام قذح (زند) النبضات (يكون حساسا لانخفاض الجهد) إطلاق هذه النبضات فى دائرة اللحام . عند نهاية كل نصف دورة سالب

ويعتبر من أهم عيوب هذه الوحدات عدم قدرتها على قدح القوس عند بداية اللحام (في الحالة الباردة) لذلك تزود هذه الوحدات بوحدة إضافية صغيرة للشرارة المتذبذبة لبدء القوس فقط ثم تفصل تلقائياً بعد ذلك .

مقبض الإلكترود (البورى) Torch :

يقوم مقبض الإلكترود (البورى) بمسك الإلكترود وتوصيل التيار الكهربائى إليه وإدخال الغاز الخامل حوله . وهذا البورى إما أن يبرد بالهواء للمشغولات الرقيقة أو بالماء للمشغولات السميكة ولشدة تيار تفوق 200 A شكل (1 - 112) وتختلف أحجام مقابض



الإلكترودات باختلاف مدى أقطار الإلكترودات المستخدمة ويتم مسك الإلكترود بالمقبض عن طريق لقم زانقة يحركها جلبة ملولبة (تشبه ظرف المثقاب) . ويدخل الغاز إلى المقبض إلى طرفه الخلفى ويخرج من فوهته التى تنتهى بمنفت (فوهة) خزفية بأقطار مختلفة تثبت فى الطرف بلولب جدول (1 - 113) وتجهز بعض الفوهات

بحاجز شبكى (مصنوع من الصلب المقاوم للصدأ) يمر خلاله الغاز انسيابيا ويمنع أى حركة دوائية له لأن ذلك يسبب دخول الهواء واهتوائه فى بركة اللحام . ويتم التحكم فى مقدار دخول الغاز والتيار عن طريق مفتاح يدوى فى المقبض أو مفتاح يدوار بالقدم .

جدول (1 - 113) أقطار الفوهات الخزفية المناسبة لأقطار الإلكترودات

| قطر الإلكترود mm | 1,5 | 2,25 | 3 | 4,5 |
|-----------------------------|-------|--------|---------|---------|
| قطر الفوهة الخزفية mm | 3 - 6 | 6 - 10 | 10 - 12 | 12 - 18 |

وتوجد الإلكترودات فى أقطار مختلفة تتراوح بين 1,5 , 4,5 ملليمتر وتصنع إما من التنجستن النقى أو من سبيكه (مع الثوريوم % 1-2 أو الزركونيوم بنسب ضئيلة) وهذه العناصر المضافة تساعد على تحمل الإلكترود لشدة تيار مرتفعة وانبعاث الكروني جيد وتحتفظ بالفوهة باردة نسبيا وتقلل تحرك القوس حول طرف الإلكترود . كما تسهل بدء القوس ولا يسهل اندماج عناصره فى المشغولة عند تماسه معها بصورة عفوية .

ويتوقف قطر الإلكترود المختار على سمك المشغولة ونوع الوصلة وشدة ونوع التيار المستخدم ونوعيته . وتوضح الجداول التالية (2 - 114-1) هذه العلاقات للحام كل من الألومنيوم والصلب المقاوم للصدأ والصلب الكربونى وفقير التسابك وحديد الزهر والنيكل والمونل .

| سمك المشغولة mm | قطر الالكترود mm | شدة التيار المتردد | | | نوع الوصلة * | تصرف الأيون | قطر سلك الحشو mm |
|--------------------|------------------------|--------------------|---------------|-----------------|--------------|-------------|------------------------|
| | | سقف | أفقى ورأسى | مستوى الأرضى | | | |

لحام الألومنيوم Tig

| | | | | | | | |
|-----|----|---|---------|---------|---------|-----|-----|
| 1,5 | 7 | A | 60-80 | 60-80 | 60-80 | 1,5 | 1,5 |
| | 7 | B | 70-90 | 55-75 | 60-80 | | |
| | 7 | C | 60-80 | 60-80 | 60-80 | | |
| | 7 | D | 70-90 | 70-90 | 70-90 | | |
| 3 | 8 | A | 125-145 | 115-135 | 120-140 | 2 | 3,- |
| | 8 | B | 140-160 | 125-145 | 130-160 | | |
| | 8 | C | 125-145 | 115-135 | 130-150 | | |
| | 8 | D | 140-160 | 115-135 | 140-160 | | |
| 4 | 10 | A | 190-220 | 190-220 | 180-210 | 3 | 4,5 |
| | 10 | B | 210-240 | 190-220 | 180-210 | | |
| | 10 | C | 190-220 | 180-210 | 180-210 | | |
| | 10 | D | 210-240 | 190-220 | 180-210 | | |
| 5 | 12 | A | 260-300 | 220-260 | 210-250 | 5 | 6,- |
| | 12 | B | 290-340 | 220-260 | 210-250 | | |
| | 12 | C | 280-320 | 220-260 | 210-250 | | |
| | 12 | D | 280-320 | 220-260 | 210-250 | | |

لحام الصلب المقاوم للتآكل (شدة التيار المستمر بقطبية مباشرة)

| | | | | | | | |
|-----|---|---|---------|---------|---------|-----|-----|
| 1,5 | 5 | A | 80-100 | 70-90 | 70-90 | 1,5 | 1,5 |
| | 5 | B | 100-120 | 80-100 | 80-100 | | |
| | 5 | C | 80-100 | 70-90 | 70-90 | | |
| | 5 | D | 90-110 | 80-100 | 80-100 | | |
| 2 | 5 | A | 100-120 | 90-110 | 90-110 | 1,5 | 2,- |
| | 5 | B | 110-130 | 100-120 | 100-120 | | |
| | 5 | C | 100-120 | 90-110 | 90-110 | | |
| | 5 | D | 110-130 | 100-120 | 100-120 | | |
| 3 | 5 | A | 120-140 | 110-130 | 105-125 | 2 | 3,- |
| | 5 | B | 130-150 | 120-140 | 120-140 | | |
| | 5 | C | 120-140 | 110-130 | 115-135 | | |
| | 5 | D | 130-150 | 115-135 | 120-140 | | |
| 4 | 6 | A | 200-250 | 150-200 | 150-200 | 2 | 4,5 |
| | 6 | B | 225-275 | 175-225 | 175-225 | | |
| | 6 | C | 200-250 | 150-200 | 150-200 | | |
| | 6 | D | 225-275 | 175-225 | 175-225 | | |
| 5 | 6 | A | 275-350 | 200-250 | 200-250 | 3 | 6,- |
| | 6 | B | 300-375 | 225-275 | 225-275 | | |
| | 6 | C | 275-350 | 200-250 | 200-250 | | |
| | 6 | D | 300-375 | 225-275 | 225-275 | | |

لحام الصلب الكربوني اللدن وفقير التسابك (شدة التيار المستمر بقطبية مباشرة)

| | | | |
|-----|-----|---------|-----|
| 1,5 | 4-5 | 100 | 1 |
| | 4-5 | 100-125 | 1,5 |
| | 4-5 | 125-140 | 2 |
| | 4-5 | 140-170 | 3 |

زاوية = D

ركنية = C

تراكبية = B

تناكبية = A

جدول (1-115) القيم الإرشادية للحام
حديد الزهر الرمادى (TIG)

| سمك المشغولة mm | وضع اللحام وصلة تناكبية | التيار | | قطر الإلكترود mm | تدفق غاز الأرجون عند ضغط واحد ونصف جوى لتر / دقيقة |
|-----------------------|----------------------------------|-----------|------------|---------------------|--|
| | | شدته A | نوعيته | | |
| 6 | أفقى | 160 | AC, HF * | 4,5 - 6 | 8 |
| 6 | رأسى | 150 | DC, -ve ** | 4,5 | 8 |
| 6 | سقف | 150 | AC, HF | 4,5 | 8 |
| 25 | أفقى | 300-350 | DC, -ve | 4,5 - 6 | 12 |

* تيار متردد + وحدة تردد عال

** تيار مستمر قطبية مباشرة (الإلكترود سالب)

جدول (2-115) القيم الإرشادية للحام
النكل ومعدن المونل وصلات تناكبية

| المعدن | سمك المشغولة mm | تدفق الأرجون عند ضغط واحد ونصف جوى لتر / دقيقة | شدة التيار المستمر قطبية مباشرة |
|--------|--------------------|---|------------------------------------|
| نكل | 3 | 12 | 200 |
| مونل | 3 | 12 | 200 |

شكل طرف الإلكترود :

تشكل أطراف الإلكترودات حسب نوع التيار ما إذا كان متردداً أو مستمراً
ففي حالة التيار المستمر يشكل الطرف مخروطياً (مثل طرف قلم الرصاص) أما
في حالة التيار المتردد فيشكل الطرف ليكون نصف كروي وفي كل الأحوال
يجب ضمان استقامة الإلكترودات حتى لا يحيد الغاز عن محور الفوهة .

الغاز الخامل :

يستخدم كل من غاز الأرجون والهيليوم في اللحام أو بخليط بينهما
إلا أن الأرجون يشيع استخدامه لرخص ثمنه بالنسبة للهيليوم .

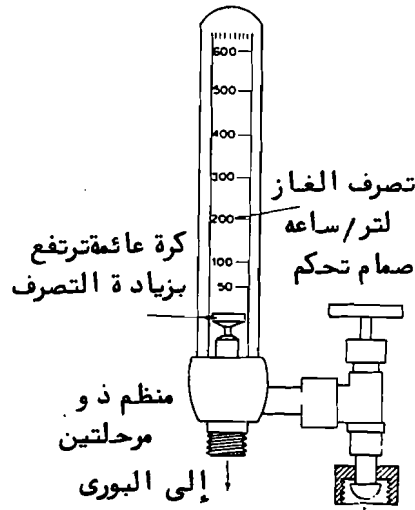
وغاز الأرجون أثقل من الهواء بمقدار (4 . 1) وب عشرة أمثال عن
الهيليوم وتتقارب درجة اللزوجة بين الغازين . ونظراً لثقل الأرجون عن
الهواء فإن ذلك يساعد على حجب ووقاية موقع اللحام . ويتميز الأرجون
بوقاية جيدة في حالة لحام كل من الألومنيوم والمغنسيوم مع التيار المتردد
ويكون اللحام أملساً والقوس أهدأ ونظراً لانخفاض الجهد اللازم للحام
الألواح الرقيقة بالأرجون فإن احتمال الاحتراق التغلفلي يكون ضئيلاً .
كما يتميز الأرجون بسهولة التحكم في اللحام الرأسى والسقفى، كما يسهل بدء
القوس به وسرعة مرتفعة في اللحام ود رزة ضيقة وبالتالي ضيق المنطقـة
التأثرة بالحرارة HAZ .

ويعبأ غاز الأرجون (والهيليوم كذلك) في أسطوانات تحت ضغط يبلغ
150 جوى ويستخدم منظم للغاز ذى مرحلة واحدة أو مرحلتين وغالباً
ما يستخدم منظم خاص مجهز بمبـين لتدفق الغاز شكلى (1,2 - 117)

أسلاك الحشو :

تُستخدَم أسلاك لحشو فجوة وصلة اللحام بتركيب يناظر معدن الوصلة
وقطر يعادل سمكها .

تجهيز الوصلة :

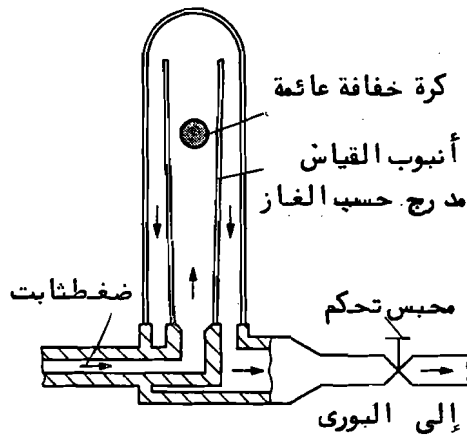


شكل (1 - 117)

يسرى على هذه الطريقة من اللحام ما يسرى على كل وصلات اللحام من ضرورة تنظيف الأطراف وتخليصها من الأكاسيد والقشور والزيوت والشحوم وكافة الملوثات .

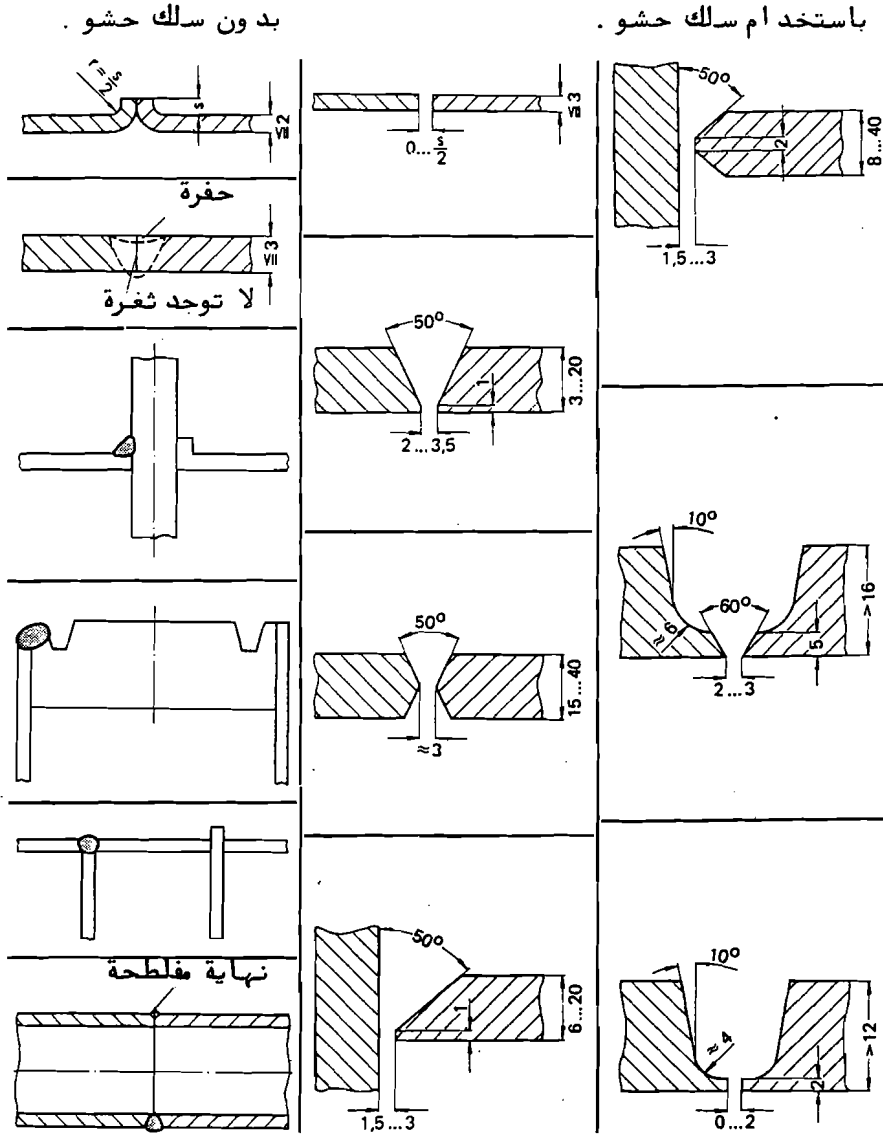
وفيما يلي الأشكال الهندسية للتجهيزات الضرورية باستخدام سلك حشو أو بدونه
شكل (1 - 118) .

ويوضح شكل (1 - 119) أسباب العيوب الناشئة عن لحام الصلب بأنواعه في المسار الأول بطريقة اللحام بالإلكترود والتنجستن والغاز الخامل الأرجون . (TIG)




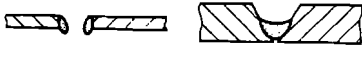
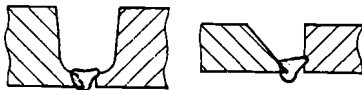
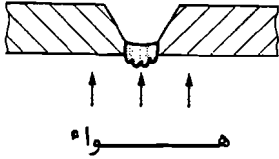
شكل (2 - 117)

أشكال تجهيزات أطراف وصلات لحام الصلب المقاوم للصدأ (TIG) :

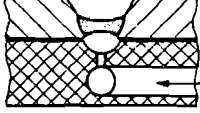
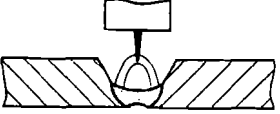
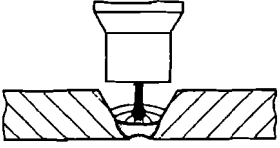
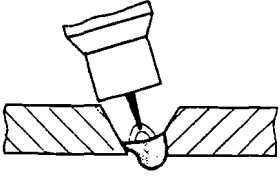


شكل (1 - 118)

شكل (1- 119) ، أسباب العيوب الناشئة عن لحام الصلب بالمسار
الأول طريقة (WIG = TIG) :

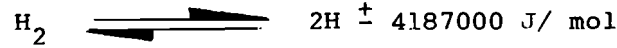
| | |
|---|--|
|  | <p>زاوية انفراج صغيرة ترحيل طرفى الوصلة</p> |
|  | <p>ابتعاد أو اقتراب طرفى الوصلة بقدر مبالغ فيه</p> |
|  | <p>عدم تماثل شكل طرفى الوصلة</p> |
|  | <p>أكسدة بسبب اكسجين الهواء الجوى</p> |

تابع جدول (1 - 119) :

| | |
|--|--|
|  <p>غاز حامل من الجذر</p> | <p>ضغط الغاز الواقى مرتفع عند الجذر.</p> |
|  | <p>القوس الكهربائى طويل.</p> |
|  | <p>إلكترود التنجستن به شوائب .</p> |
|  | <p>البورى مائـل .</p> |

اللحام بالهيدروجين الذرى (Atomic-Hydrogen Welding (Arcatom)

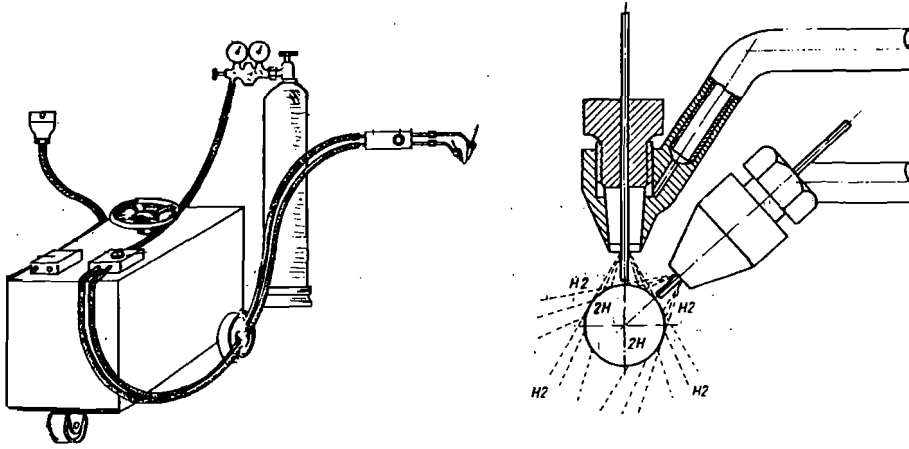
تعتمد هذه الطريقة على استخدام الهيدروجين (الجزيئى العادى H_2) بإمراره فى قوس كهربائى بين قطبين مستديمين من التنجستن فيتحلل الهيدروجين إلى ذراته ويصبح هيدروجينا ذرياً (H) مكتسباً كمية الحرارة اللازمة لتفككه فى القوس . وعند اقتراب هـذا الهيدروجين من الشغلة المطلوب لحامها فإنه يعود لتجمع ذراتهـ. ثانياً: عند ملاسته للشغلة (الباردة نوعاً) طارداً للحرارة التى اكتسبها من قبل حيث تصل درجة الحرارة إلى $3700^{\circ}C$ ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة التالية :



وفى هذه الطريقة يُستخدَمُ التيار المتردد بين قطبى التنجستن بقصد مساواة معدل التآكل فى هذه الأقطاب شكل (1-122, 1-125) ويستخدم جهد كهربائى فى حدود (300 V) . ولغاز الهيدروجين فائدة أخرى غير نقل الحرارة، وهو اختزال أكاسيد الوصلة وحمايتها من الأكسدة بفعل أكسجين الهواء الجوى فى درجة حرارة اللحام .

وتتميز هذه الطريقة بجانب ذلك بسهولة التحكم فى القوس (طولـه وشدة تياره وبعده عن الشغلة) ومن ثمَّ التحكم فى الحرارة المستخدمة فى اللحام شأنها فى ذلك شأن اللحام بالأكسى أستلين . ويستخدم سلك للحشو لا يتصل بأى قطبية .

ونظراً لارتفاع تكاليف هذه الطريقة فإن استخدامها يقتصر على المشغولات التى يصعب لحامها بالطرق السابقة مثل لحام الصلب المقاوم للصدأ . (لارتفاع نسبة الكروم به وبالتالى يصعب إزالة أكاسيد الكروم) . وكذلك الألومنيوم والسبائك الحديثة التى تتحمل درجات الحرارة المرتفعة كما يمكن استخدامها فى لحام المعادن والسبائك رديئة التوصيل الكهربائى (لعدم الحاجة إلى ادخالها فى دائرة القوس الكهربائى) مثل لحام الكوارتز والخزفيات .




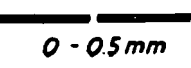

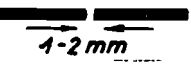



شكل (1-122) اللحام بقطبي التنجستن
وغاز الهيدروجين

ويُفيدُ غاز الهيدروجين من ناحية أخرى في إطالة عمر الكـثـرودات التنجستن بمنع احتراقه لغياب أكسجين الهواء الجوى (بتأثير حماية الهيدروجين) . وتوجد وحدات للحام بهذه الطريقة تعطى تيار لحام من 7,5 إلى 35 A أو 15 إلى 75 A أو عن طريق محولات. ويشتعل القوس بين قطبي التنجستن عند جهد 300 V إما باقتراب الإلكترودين حتى تلامسهما ثم إبعادهما تدريجياً وبمجرد اشتعال القوس يمرر غاز الهيدروجين فوراً خوفاً من احتراق طرفى الإلكترودين ، وإما بلمس طرفى الإلكترودين بقطعة من الفحم النباتى أو الخشب المتفحم سطحه . وبمجرد اشتعال القوس ومرور غاز الهيدروجين يهبط الجهد إلى مقدار يتراوح بين 70 إلى 90 v وهو جهد التشغيل ويطفأ القوس بإبعاد الإلكترودين عن بعضهما البعض. ويعد بورى اللحام بالتيار عن طريق كبل ومعه خرطوم معدنى لإيصال غاز الهيدروجين الذى يكون مصدره إما اسطوانة تحتوى مـضـغوطة أو عن طريق وحدة تكسير غاز النوشادر (NH_3) إلى نيتروجين وهيدروجين حيث يوصل الأخير إلى البورى . (بضغط تشغيل يبلغ 0,3 جوى) .

وعادة ما تبرد فوهة البورى بالماء . ويكون استهلاك الإلكترود بين متساويا نظرا لاستخدام التيار المتردد (يصل معدل الاستهلاك إلى 35 mm/h فى الإلكترودات ذات قطر ثلاثة مليمترات وشدة تيار خمسين أمبير) . ولذلك يجب تغذيتها من حين لآخر لتعويض ما استهلك منها وللمحافظة على طول قوس ثابت بين الإلكترود وبين ويبلغ طول الإلكترود الواحد فى المعتاد 300 mm . أما الأقطار المتداولة فهى $1,5$ ، 2 ، 3 mm . ويختار القطر المناسب حسب ثخانة المشغولة ويظل الإلكترود من فوهة البورى بطول يتراوح بين 12 ، 15 mm . وعند إجراء اللحام يوجه البورى فى اتجاه درزة اللحام بينما تلمس حافة القوس المشغولة وذلك لا مكان الحصول على درزة ضيقة والتوصل إلى أعلى درجة حرارة يمكن الاستفادة بها من القوس . كما يجب تجنب الرجوع بالبورى أثناء تقدم اللحام . ويجب العمل بقدر الامكان على أن يدفع القوس بركة المنصهر فى خطوات منتظمة إلى الأمام . وعند الحاجة إلى درزة عريضة (حالة استثنائية) يمكن تحريك القوس بحركة بند ولية عرضية أثناء التقدم باللحام .

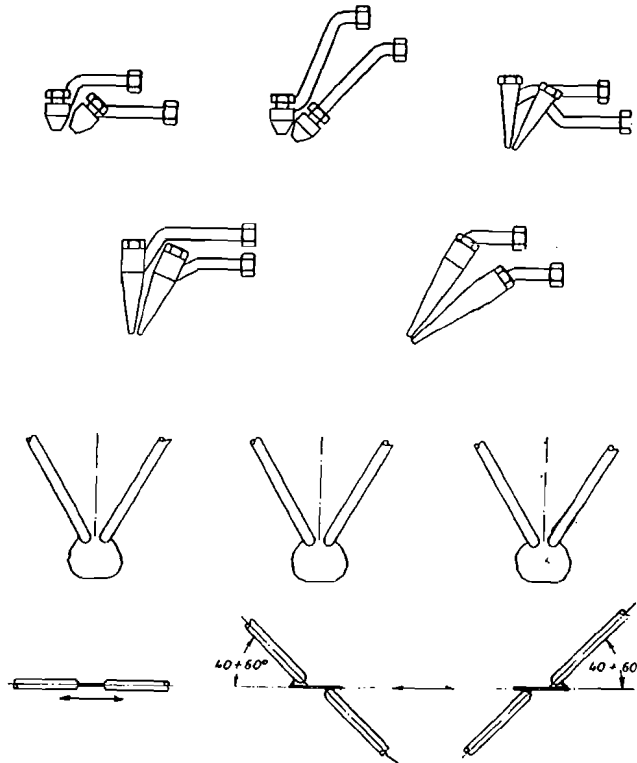
ويضاف سلك الحشو مثل طريقة اللحام بالأكسى أستلين وتجهز أطراف الوصلات حسب ثخانة المشغولة ويوضح الجدول (1-124) أشكال التجهيزات المختلفة حسب سمك أطراف الوصلات وأقطار الإلكترودات المناسبة وشدة التيار وضرورة استخدام سلك الحشو وعدد المسارات المناسب .

جدول (1- 124) القيم الارشادية للحام بالهيدروجين الذرى :

| شخانة اللوح | تجهيز طرفى الوصلة (فجوة اللحام) | قطر الالكترود | شدة التيار | استخدام سلك حشو | عدد المسارات |
|-------------|---|------------------|---------------|-----------------------|-----------------|
| 1 - 15 |  | 1,5 | 17-22 | — | 1 |
| 1 - 2 |  | 1,5 | 17-22 | عند الحاجة | 1 |
| 2 - 3 |  | 1,5 | 22-28 | عند الحاجة | 1 |
| 3 - 5 |  | 1,5-2 | 28-35 | ✓ | 1 |
| 5 - 8 |  | 2 - 3 | 55-45 | ✓ | 1 - 2 |
| 8 - 10 |  | 3 | 45-55 | ✓ | 2 - 3 |
| 10-15 |  | 3 | 55-65 | ✓ | |

وفي المشغولات الكبيرة والسميكة مثل الألومنيوم يحتاج الأمر إلى تسخينها تسخيناً أولياً لتعويض التسرب الحرارى . كما يجب استخدام مساعد صهر

عند لحام المعادن الخفيفة كالحال في اللحام بالأكسجين أستلين وذلك لإزالة طبقة الأكسيد من سطح المشغولة . وبصفة عامة يجب تنظيف الأطراف تنظيفا ميكانيكيا بالفرجون السلكي والتنظيف بالأحماض قبل البدء في اللحام .



بوارى اللحام بالهيدرجين الذرى وأوضاع اللحام به

شكل (1 - 125) .

اللحام بالأسياخ (الإلكتروودات) المستهلكة :

Consumable Electrodes Welding

لا تستخدم في هذه الحالة الكترودات غير مستهلكة بل تستخدم أسياخ اللحام نفسها كالإلكتروودات باتصالها بدائرة القوس الكهربائي وفي نفس الوقت كسلك حشو .

وفي هذه الحالة يجمع السبخ بين الفائدتين توليد القوس وتزويد الوصلة بالمعدن الإضافي اللازم لملء فجوتها وبالتالي يقتضى الأمر التغذية المستمرة بالسبخ بالقدر الذى يستهلك (ينصهر ويرتبط بالوصلة) وقد تتم هذه التغذية يدويا أو ميكانيكيا (أوتوماتيا بمعدل يساوى معدل استهلاك سلك الحشو) . ولا يختلف تركيب السبخ فى المعتاد عن تركيب معدن وصلة اللحام كثيرا . ويمكن لحام معظم الفلزات وسبائكها بهذه الطريقة بما فى ذلك الألومنيوم والصلب المقاوم للصدأ أو النحاس وخلافها وذلك باستخدام الأجواء المغلفة الواقية (الأرجون أو الهليوم) أو بدونها أو بكسوة من مواد خاصة .

وقد يبدو للذهن لأول وهلة أن عملية ضبط طول القوس ليظل ثابتا عند استخدام الإلكتروودات المستهلكة أمر صعب ولكن هناك ظاهرة تسيطر على ضبط القوس تلقائيا بحيث يظل تقريبا ثابتا طالما يظل التغيير الحاد فى حدود ضيقة . فإذا حدث وسحب العامل الإلكتروود (السبخ) قليلا إلى الخلف فإن ذلك ينتج عنه زيادة لحظية فى طول القوس وزيادة قليلة فى الجهد الكهربائى المسيطر (الفولت) الذى يصحبه بالطبع انخفاض فى شدة التيار (الأمبير) الأمر الذى يترتب عليه انخفاض فى معدل صهر أو استهلاك الإلكتروود فيقل طول القوس حتى يعود إلى طوله الأصلى والعكس صحيح إذا حدث انخفاض فى طول القوس فإن شدة التيار تزداد ويزداد تبعاً لها معدل الانصهار أو استهلاك الإلكتروود فيزداد طول القوس . أى أن تنظيم القوس يتم ذاتيا طالما كان التغيير الحاد فى حدود لا تؤثر على القوس . هذا على النقيض من وسائل اللحام الأتوماتية الأخرى التى يتحكم التحكم فيها بوسائل ضبط خاصة (Servo Controls) .

آلية انتقال المعدن من الإلكترود (أو سلك الحشو) إلى الوصلة

تعددت في الماضي النظريات وتضاربت التصورات لآلية انتقال المعدن إلى الوصلة . فقد كان يظن في إحدى هذه النظريات أن معدن الإلكترود أو السلك يصيبه الانصهار والتبخر ثم يتكثف ثانية عند الشغلة وهو أمر لا يمكن قبول حدوثة في الوقت الحاضر بالكميات التي يتم نقلها إلى درزة اللحام وهناك التصور الآخر بأن المعدن ينتقل في صورة رذاذ من الإلكترود إلى الشغلة وقد أوضحت الصور المتحركة التي أمكن إنجازها أن هذا التصور غير قائم وإنما الذي يحدث هو تكون قطرات منصهرة من الإلكترود يزداد حجمها تبعا لعدة متغيرات وفي النهاية تنفصل هذه القطرات بطريقة انفجارية وتصل إلى الشغلة وقد أمكن في الآونة الأخيرة وضع تصور سليم لما يحدث وذلك بإعداد أفلام بالتصوير السريع ثم العرض البطيء وملاحظة ذلك بقياس المتغيرات المؤثرة مثل شدة التيار والجهد وطول القوس ويمكن وصف ما يحدث بأنه في الأقواس المحمية بالغازات الواقية أو الأقواس غير المحمية يحدث الانتقال للمعدن بتأثير عدة قوى أهمها قوة الجاذبية الأرضية وتمدد الغازات التي تتحرر من المعدن عند انصهاره والقوى الكهرومغناطيسية وكذلك للقوى الكهربائية ثم قوى الشد السطحي . شكل (1 - 128 ، 1 - 129)

الجاذبية الأرضية :

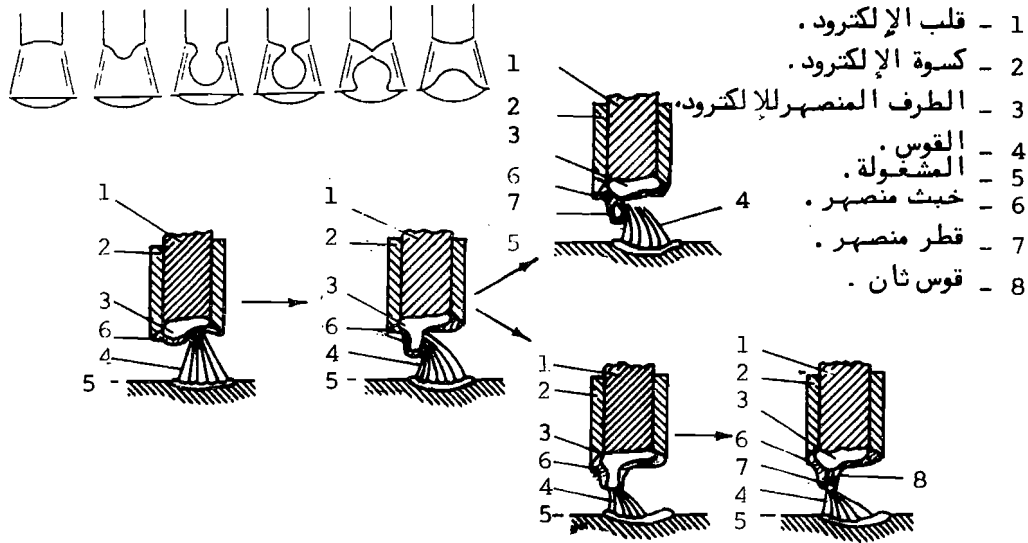
تمثل الجاذبية الأرضية أهم القوى المؤثرة في حالة اللحام الأرضي المستوى (على المستوى الأفقي) إذ تقوم بدفع قطرات المنصهر في اتجاه الشغلة وتتيح هذه القوى فرصة جيدة لاستخدام الكمبيوترات أو أسياخ حشواً قطار كبيرة . إلا أن هذه القوة تصبح مضادة لنقل المعدن المنصهر في حالات اللحام الرأسى ولحام السقف الأمر الذي يدعو للحام إلى اختيار إلكترودات رفيعة للإقلال من مفايد المعدن والخبت لأن قوى الشد السطحي التي تكون مؤثرة في هذه الحالات لا تقوى على دفع قطرات كبيرة الحجم .

تمدد الغازات المتولدة :

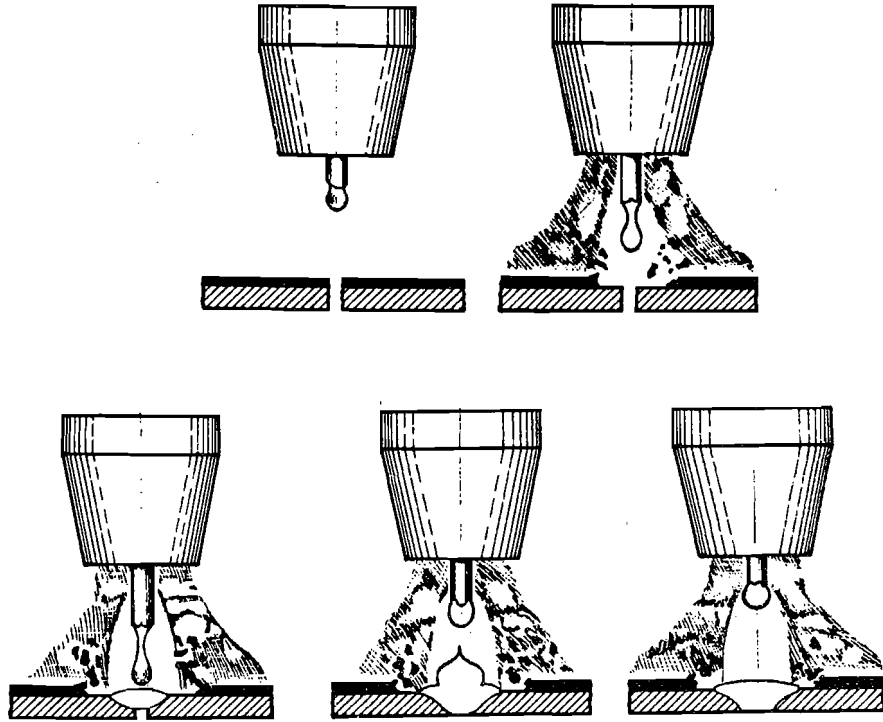
إن الحرارة الشديدة المتولدة في القوس لتكفي ليس فقط لانصهار وتبخير واحتراق وتحلل المواد الفلزية وغير الفلزية (الكسوة) في منطقة طرف الإلكترود وتوليد غازات عديدة، بل أن التمدد السريع الذي يحدث في الغازات المتولدة ليدفع المكونات المعدنية والخبث من الإلكترود إلى الشغلة . وهذا يدفع يساء على استخدام الكترودات التيار المتردد والتيار المستمر بالقطبية العكسية وعلى إجراء لحامات أرضية ورأسية وسقفية .

القوى الكهرومغناطيسية :

يتولد مجال مغناطيسي متعامد على مرور التيار في الإلكترود وتتولى هذه القوى دفع (فصل) قطرة المنصهر المتكونة عند طرف الإلكترود قبل أن تنفصل بتأثير الجاذبية الأرضية وهي كذلك تساعد على انتقال القطرة في كل أوضاع اللحام الأرضية والرأسية والسقفية .



شكل (1 - 128)



شكل (1 - 129)

قوى الدفع الكهربائية :

تؤثر قوى الدفع الكهربائية الناشئة عن فارق الجهد عبر القوس على القطرة التي تولدت القوى الكهرومغناطيسية فصلها وتدفعها إلى الشغلة وهذه القوة تساعد على اللحام في جميع الأوضاع .

الشد السطحي :

يلعب الشد السطحي دوراً هاماً في عملية انتقال المعدن من الإلكترود أو سلك الحشو إلى الوصلة في جميع الأوضاع سواء كانت قوى الجاذبية الأرضية مؤثرة أو لم تكن عندما يلمس طرف القطرة المتكونة سطح الشغلة

المنصهر (بركة المنصهر) نجد أنَّ الشدَّ السطحي يجذب النقطة لتنضم إلى سطح بركة المنصهر .

اللحام باستخدام الإلكترونيات العارية :

يقصد بالإلكترونيات العارية تلك التي لا تُغلفها أو تكسوها أي مساعدات لحام ويتم اللحام بها في الهواء الجوي المعتدلاً دون استخدام أجواء (غازات) أخرى واقية . ومن البديهي أن تكون عمليات اللحام بالقوس الكهربائي قد بدأت باستخدام هذه الإلكترونيات العارية وصار تطويرها مع الزمن بكسوتها بمواد مختلفة لتحسين عملية اللحام . ومن ثم فقد تلاشى استخدام الإلكترونيات العارية وأصبح من النادر استخدامها (ربما في بعض الحالات النادرة ومقصورة على الصلب اللدن) . وحتى نهاية الحرب العالمية الأولى لم يحدث تطور يذكر في الإلكترونيات العارية وكان لحام الصهر بالغاز (الأكسي أستلين) يتفوق عليها من ناحية جودة وانتظام درزة اللحام رغم سرعة الأول وكانت أهم الصعوبات التي صادفت اللحام بالإلكترونيات العارية هي تعرض قطرات المعدن المنصهرة في جسم القوس وبركة المنصهر في الشغلة للهواء الجوي وتأكسده بسرعة .

ومن ثمَّ كانت تحتوى درزة اللحام على محشورات (محتويات) من الأكاسيد والتي تمنع تكون طبقات متصلة من مادة اللحام . ولا يقتصر الأمر على التأكسد بفعل أكسجين الجوبل أن النيتروجين يتدخل بفعله الضار الذي يتسبب في إكساب الصلب قسافة غير مرغوبة . وثمة صعوبة أخرى للحام بالإلكترونيات العارية: وهي عدم استقرار القوس (مقارنة بالقوس المستخدم في الوقت الحاضر) وصعوبة إشعاله وحساسيته المفرطة لتغير طول القوس .

ويمكن القول: إن تطوير الكترودات اللحام من عارية إلى مكسوة لم يتم باديء ذي بدء بالأسلوب العلمي المعروف الآن بل بالأسلوب التجريبي والخطأ وفي بعض الأحيان اكتشاف فوائد معينة بمحض الصدفة .

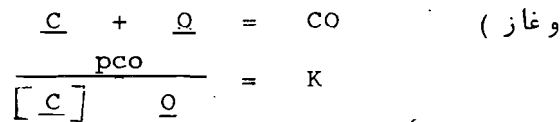
ولادراك مدى أهمية ومراحل تطور كسوة الإلكترونيات نجد أن من المناسب تحليل ما يحدث للصلب عند انصهار أو تسخينه في الهواء المعتاد .

يحتوى الهواء الجوى في المقام الأول على أكسجين ونيروجين وبخار الماء وهى كلها عناصر ضارة لعملية اللحام . ويعتبر بخار الماء أشد هـا تعقيدا فى دراسة أثره على التفاعلات الميتالورجية الحادثة أثناء اللحام إذ يتحلل بخار الماء عند درجات حرارة اللحام إلى هيدروجين وأكسجين حديثى التولد (nascent) = نشيئة .

ومن المعروف أن النيتروجين يصيب فى المقام الأول الحديد المنصهر بالتفاعل معه دون العناصر الأخرى الموجودة فى الصلب بعكس الأكسجين الذى يتفاعل مع كل العناصر فى درجة حرارة انصهار الصلب مكونا أكاسيد وبصورة معقدة فمثلا يحدث تفاعل بين الأكسجين والكربون كما يلي: $2C + O_2 = 2CO$ بتوليد غاز أول أكسيد الكربون (فقاعات غازية) ويترتب على ذلك نقص فى الكربون فى طبقة الصلب المعرضة للتفاعل . ويستمر تفاعل الأكسجين مع باقى العناصر مكونا طبقة من الخبث تطفو على سطح الصلب المنصهر وتتولى هذه الطبقة حجب انتشار الأكسجين بعد ذلك ومن ثم تتم حماية الصلب من غزو الأكسجين والنيتروجين .

ويصير فى الحقيقة تسابقا بين العناصر للتفاعل مع الأكسجين ويكون السليكون أولها فى التسابق .

وبدراسة الديناميكا الحرارية Thermodynamics لاتزان الكربون والأكسجين نجد أنه (فى غياب السليكون) يحدث التفاعل



يعنى الخط تحت الرمز أن العنصر ذائب فى المعدن المنصهر أو الجامد بينما تعنى الأقواس المربعة مقدار تركيز العناصر فى

المحلول ، $P =$ ضغط الغاز .

ونجد أن مضروب نسبتي التركيز $[Q]$ $[C]$ يتغير بتغير درجة الحرارة طبقاً للعلاقة التالية عند الضغط الجوي $P_{CO} = 1 \text{ atm}$

$$\ln \frac{1}{K} = \frac{2065}{T} + 1,643$$

$T =$ درجة الحرارة المطلقة

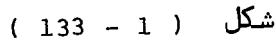
نسب تركيز العناصر تكون بالنسب الوزنية

ونجد أن الأكسجين عند ضغط جزئي يعادل (10^{-7} جوى) يمكنه أن يولد أكسيد حديد منصهر عند درجة حرارة (1727°C) وحتى في وجود قدر وفير من أول أكسيد الكربون (الغاز الواقي للحام) نجد أن هناك مصدراً للأكسجين من ثانى أكسيد الكربون يتولّى أكسدة الحديد . (هذا لا يعنى أن استخدام الغازات الواقية غير مجد . إذ أن معدل التأكسد يقل بشدة عند انخفاض ضغط الأكسجين في الغاز الواقي للقوس) .

ويوضح شكل (1 - 133) تركيز الكربون والأكسجين بدءاً من سطح الأكسيد إلى داخل الصلب المنصهر ونجد أنه عند درجة حرارة (1727°C) أن الحديد الملامس لأكسيد الحديد يحتوى على $(0,3\%)$ أكسجين بينما يكون الكربون في حدود $(0,007\%)$ عند نفس المكان ومن ذلك يتضح أن انتشار الكربون يكون خروجاً إلى السطح بينما الأكسجين دخولاً إلى القلب . ولذا لك يجب تعويض الفاقد في الكربون بإضافة كربون إما في سبيخ اللحام في صورة مسحوق فحم نباتي ككسوة السبيخ أو قد يضاف إلى الكسوة مواد مختزلة للأكسجين .

ونخلص من ذلك إلى القول: إنه من الأفضل أن يتم استبعاد أو التخلص من وجود الأكسجين والنيتروجين من منطقة اللحام أو على الأقل الحد من وجودهما .

ويمكن أن يتم ذلك باستخدام الغازات الواقية حول القوس مثل الغازات الخاملة أو استخدام الكترودات مكسوة لتهىء كسوتها عزل



الأسباب الكهربائية لاستخدام كسوة الإلكترودات :

سبق أن تبيننا أن استخدام الغازات الخاملة (الهليوم - الأرجون) لا تقتصر على طرد الهواء الجوى من منطقة اللحام ومن ثم تجنب التأثير الضار لكل من الأكسجين والنيتروجين بل إن فائدتها تمتد إلى العمل على استقرار القوس من كَوْنُ أنها تكتسب طاقة كبيرة بالاصطدام بسرعة عالية بين ذراتها (بانتقال الكثرونات الغلاف الخارجى إلى مستوى أعلى للطاقة وهذه الطاقة لا تكفى لتأين ذرات الغاز الخامل بل لاستثارتها فقط) ثم تعود فتطلق جزءا كبيرا من هذه الطاقة عند وصولها إلى الشغلة وتكسبها للشغلة . ولما كان تأين الذرات المستثارة أسهل من تلك غير المستثارة فإننا نجد أن الاصطدام بين ذرتين مستثارتين قد يؤدى إلى تأين أحدهما وإطلاق طاقة فائضة (انظر معادلات الاستثارة والتأين ص 105) وعلى هذا الأساس فإن الغازات الخاملة

رغم أنها تتصف بجهد تأين مرتفع جدول (1 - 79) إلا أنها تتأين بسهولة بعد وجودها في الحالة المستثارة ومن ثم فإن القوس الكهربائي الذي يتم وقايته بهذه الغازات يكون أكثر استقراراً عن تلك الأقواس المولدة في الهواء الجوي .

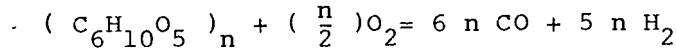
وإذا أردنا أن نعوض الغازات الخاملة مرتفعة التكاليف بمواد أخرى أقل تكلفة لحماية القوس والشغلة من فعل الهواء الجوي فإننا يجب أن نبحث عن مواد يسهل تأينها بجانب فعلها المختزل لأكسجين الهواء الجوي وبالنظر إلى جدول جهد التأين للمواد والمركبات المختلفة جدول (1 - 79) نجد أن الفلزات القلوية تكون بصفة خاصة ذات جهد تأين منخفض مقارنة بباقي العناصر والمركبات الأخرى . كما أنه من المفيد بجانب ذلك استخدام مواد تساعد على تشجيع الانبعاث ويتصدر قائمة هذه المواد الأكاسيد المعدنية المقاومة للحرارة Refractory مثل أكسيد التيتانيوم وأكسيد الحديد التي تؤدي إلى سهولة بدء القوس واستقراره (ومن هنا نشأ الاعتقاد بين اللحامين القدامى بأن أسياخ الحديد الصدئة يسهل اللحام بها عن أسياخ الصلب الجديدة .

نبذة تاريخية عن بدء وتطور كسوة الإلكترودات للحام بالتيار المستمر :

بدأ استخدام الإلكترودات المكسوة لأول مرة في مطلع الحرب العالمية الأولى (1914) في السويد حيث تم استخدامها في إنتاج المعدات الحربية باللحام في إنجلترا ولم تكن الكسوة تتعدى نسيج من الأسبستوس الملفوف حول الأسياخ المبللة بالطين . وبامتداد تصنيع المعدات الحربية أثناء تلك الحرب في الولايات المتحدة الأمريكية لم يكن هناك بدء من الاستعاضة عن الأسبستوس بمادة أخرى لعدم توفر الأسبستوس في القارة الأمريكية حينئذ . وقد بدأ بتجربة نسج القطن إلا أنه ما لبث أن احتراق في القوس وبدأ يفقد تماسكه فلجأ المستخدم إلى مادة الزجاج المائي Water Glass كمادة رابطة مقاومة للحرارة وقد أثبتت هذه الإلكترودات جدارتها في الاستخدام . وقد صار استخدام الأسبستوس والقطن والزجاج المائي أساساً فيما بعد

لكل تطور حدث في كسوة الإلكتروودات حتى يومنا هذا ولإدراك أهمية ذلك يمكن الرجوع إلى الخلفية العلمية التي تبرز ذلك .

فالقطن ما هو إلا سليولوز نقي تقريبا يتحلل بالحرارة إلى عناصره طبقا للمعادلة التالية :



ويتضح من ذلك أن نواتج الاحتراق ما هي إلا غازات مختزلة (أول أكسيد الكربون والهيدروجين) ومن ثم فهي تهيء جـ... واقيا ممتازا للحام الصلب فقير الكربون شأنه في ذلك شأن ما يحدث في عملية اللحام بغازى الأكسجين وأستلين بعد المرحلة الأولى من التفاعل .

هذا بالإضافة إلى أن مادة الزجاج المائى ما هي إلا محلول مائى مركز لسليكات الصوديوم أو البوتاسيوم . ويتأين الصوديوم عند جهد تأين قدره (5,1 eV) والبوتاسيوم (4,3 eV)، أى أن كليهما يسهل تأينه ومن ثم فإنهما يعملان على استقرار القوس . هذا بجانب ما للزجاج المائى من تأثير صهيرى Fluxing فيساعد على بلل سطح الصلب المنصهر وتغطيته وحمايته من الهواء الجوى .

وتتصفُ الإلكتروودات المكسوة بالسليولوز مع سليكات الصوديوم والبوتاسيوم بتغلغل قوسها إلى عمق كبير ولذا لك يشيع استخدامها فى لحامات خطوط الأنابيب (تحتاج إلى اللحام من الخارج فقط) ويكون معدل احتراقها منخفضا ولذا لك فإن حجم بركة المنصهر يكون صغيرا الأمر الذى يسهل استخدامها فى جميع الأوضاع (الأرضى - الأفقى - الرأسى - السقف) بالإضافة إلى قلة تكون الخبث أثناء إجـ... اللحام . ويلاحظ أنه إذا اتصل الإلكتروود بالقطب الموجب فإن تناسر المعدن المنصهر يمتد إلى مساحة كبيرة بسبب حدة القوس ولذا لك فإن هذا النوع من الإلكتروودات يستخدم بتوصيله بالقطب السالب أى باستخدام القطبية المباشرة (Straight=Direct Polarity) .

الغازات المتولدة أثناء اللحام :

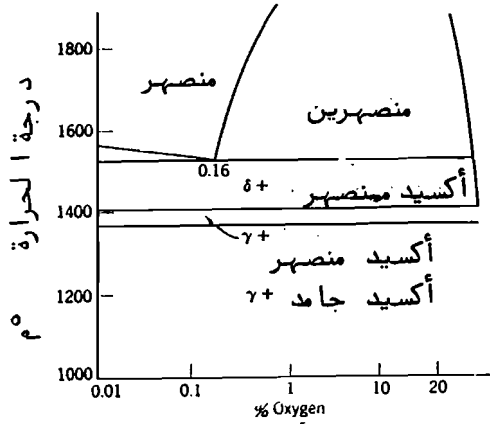
يتولد العديد من الغازات أثناء عملية اللحام مصدرها إما من كسوة الالكترودات أو سيخ اللحام أو الهواء الجوى وتفاعله مع العناصر المختلفة ويذوب بعض هذه الغازات فى المعدن المنصهر بينما يبقى البعض الآخر دون ذوبان (حدود التشبع) .

ومن أهم هذه الغازات الذائبة أثراً فى عملية اللحام هي غازات الهيدروجين والنيتروجين والأكسجين الذى يتوقف ذوبانهما على الضغط المسيطر وعلى درجة الحرارة ويوضح شكل (1 - 137) مقطع من مخطط الاتزان الحرارى لكل من الحديد والأكسجين كما يبين شكل (2 - 137) مخطط الاتزان الحرارى لكل من الحديد والنيتروجين ومن الواضح أن استمرار ذوبان هذه الغازات فى الحالة الجامدة يتوقف على معدل التبريد وبصفة خاصة لحظة الانتقال من الحالة المنصهرة إلى الحالة الجامدة فكلما كان التبريد سريعاً كلما زادت نسبة الغازات المحبوسة .

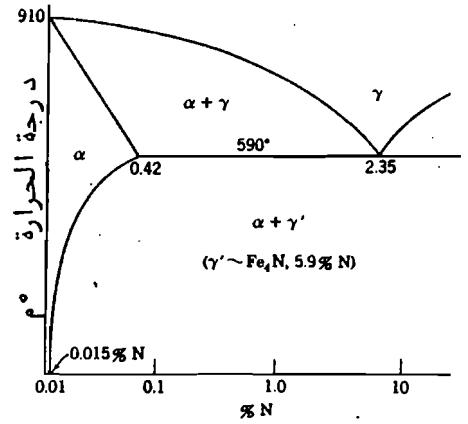
ويتصف غاز الهيدروجين بسهولة تحرك وانتشار ذراته داخل المتجمد (نظراً لصغر ذراته) وتجمعه على حدود الحبيبات وعند المستويات البلورية ذات الاختلال الذرى (Fault) . ويحدث هذا التجمع تحت ضغط غازى كبير جداً قد يؤدى أحياناً إلى تدوير المتجمد بالظاهرة المعروفة باسم التقصف الهيدروجينى .

أما النيتروجين فيوجد فى المتجمد فى صورة نيتريد حديد إبرية الشكل تؤدى إلى تجمع الاجهادات وعدم توزيعها بانتظام مما يؤدى إلى نقص عمر الكلال ونقص المتانة . بجانب تعاونه مع الكربون لإكساب الصلب قسافة مفرطة عند التسقية للتصليد بالتحويل المارتنسى .

ويسهل التحكم فى وجود الأكسجين فى الصلب (مقارنة بالهيدروجين والنيتروجين) إذ يعتمد ذوبانه على نسبة الكربون وعلى



نسبة الأكسجين
شكل (137-1)



نسبة النيتروجين
شكل (137-2)

نسبة الفلزات المختزلة للأكسجين الموجودة في كسوة الإلكترودات .

ويتأكسد كل من السليكون والمنجنيز إلى SiO_2 ، MnO والتي تحبس في داخل اللحام المتجمد وهو أمر مألوف في كثير من اللحامات وبصفة عامة يمكن القول أن تأثير وجود الأكسجين يختلف من حالة إلى أخرى .

ففي بعض الأحيان يؤدي إلى ترسيب مركبات لا فلزية غير ضارة ، وأحياناً يحدث اختزال للكربون يكون ضاراً حسب ظروف الاستخدام . وقد تنشأ مسامية بسبب تكون غاز أول أكسيد الكربون وهو أمر غير مرغوب فيه ويجب الإقلال منه وبصفة عامة لا يكون ضرر الأكسجين مثل ضرر كل من النيتروجين أو الهيدروجين كما سيرد الإشارة إليه في شرح التقصف الهيدروجيني .

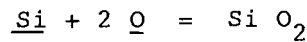
تأثير الخبث الناتج من التفاعلات أثناء اللحام :

يشبه التفاعل بين بركة لحام الصلب المنصهر والخبث المنصهر الطافي فوقه أثناء لحام الصهر وتلك التفاعلات الحادثة في عمليات إنتاج الصلب إلى حد كبير إذ يتحكم هذا التفاعل في النهاية في تركيب الصلب الناتج آخذين في الاعتبار تعقد تركيب الخبث في حالة اللحام وعدم التوصل إلى حالة الاتزان التام في التفاعل بسبب سرعة الصهر والتبريد فعلى سبيل المثال نأخذ التفاعل الأساسي بين الحديد والأكسجين

$$2 \text{Fe} + \text{O}_2 = 2 \text{FeO}$$

نجد أن التفاعل يتجه إلى اليمين طالما كان الضغط الجزئي للأكسجين فوق الحد الحرج وإلى اليسار إذا هبط دون ذلك . ولكن إذا حدث هذا التفاعل في وجود السليكا نجد أن السليكا تعمل كمذيب لأكسيد الحديد ويحدث أن يتجه التفاعل نحو اليمين (طبقا لقانون فعل الكتلة) طالما كان تركيز أكسيد الحديد في المحلول منخفضا والعكس صحيح إذا ارتفع تركيز أكسيد الحديد وإذا كان مقدار الأكسجين منخفضا بدرجة كافية نجد أن التفاعل سيتوقف عند نقطة وسط معينة .

ونجد في صناعة الصلب أن أكسيد الحديد (FeO) يشكل جزءا من الخبث ويشكل الحديد جزءا من الصلب المنصهر بينما يذوب الأكسجين في الصلب المنصهر بقدر يمكن حسابه ثرموديناميكيا . ولو أريد التخلص من الأكسجين الذائب فإنه يمكن الاستعانة بعنصر آخر أكثر قابلية للاتحاد بالأكسجين وإضافته إلى الخبث أو إلى المنصهر والسليكون هو أحد العناصر التي يمكن أن تؤدي هذه المهمة كالتفاعل التالي :



(في الخبث)

وهو تفاعل يمكن أن يستمر في اتجاهه نحو اليمين إلى مدى أكبر من التفاعل المناظر بين الحديد وأكسيد الحديد وبهذا الأسلوب

ولا يقتصر الأمر في صناعة الصلب على خفض نسبة الأكسجين بل يمتد الأمر إلى الكبريت والفسفور بل والسليكون ذاته ومن ثَمَّ يصبح الخبث مركباً معقداً يصعب معه حساب توزيع هذه العناصر بين المنصهر والخبث وحتى القياس العملي لذلك نجد أنه لا يفي بالدقة المطلوبــة إذ أن وجود أحد العناصر يؤثر على سلوك العناصر الأخرى وأحياناً بدرجة كبيرة . ولكن الخبرة العملية على مدى عديد من السنين مكّنت من التعرف على نتائج معروفة مسبقاً وبدرجة مقبولة من الدقة .

وفى اللحام توجد الإلكترونات ذات الكسوة الحامضية وأخرى ذات الكسوة القاعدية ويشترك النوعان فى مركبات أولية فى كسوتيهما هدفها أحداث التوازن أو الاتزان بينهما للوصول إلى التعادل بين الحامض والقاعدة .



كما أن هناك طبقة رقيقة من الخبث تتكون حول كل قطرة لحام تتكون فى الإلكتروود وتنتقل إلى الشغلة ومن ثم تعزلها وتحميها من التأكسد فى فترة الانتقال هذه .

ويكون انتقال النيتروجين إلى المعدن بسبب قلة قابليته للذوبان فى الخبث وتحتوى الكسوة على منجنيز وسليكون تتحد مع الأكسجين والذى يذوب كذلك فى الخبث . كما أن ثقل قوام طبقة الخبث تساعد على إبطاء تبريد طبقة اللحام وهو أمر متعدد الفوائد فمن ناحية نجد أن الغازات الذائبة تجد فرصة للهروب ومن ناحية أخرى تقل الاجهادات الحرارية بسبب ببطء التبريد وكذلك نحصل بنية معدنية لدنة مسبباً السبائك التى يحدث بها تحول إلى أصناف صلبة بالتبريد السريع (مثل التحول المارتنسي) .

استخدام التيار المتردد فى توليد قوس اللحام :

سبق أن ذكرنا أن من أهم عيوب استخدام التيار المستمر فى توليد قوس اللحام هي تكلفة معدات توليد التيار إذ يحتاج الأمر إلى استخدام المحولات الدوّارة (Rotating Transformers) أو بمعنى آخر محركات تعمل بالتيار المستمر أو المتردد يركب على محورها مولد للتيار المستمر بالجهد وشدة التيار المطلوبين وهو ما يطلق عليه كذلك (Motor - Generators) . كما أن هناك ظاهـرة الانطفاء المغناطيسى . إلا أن التيار المستمر يتميز بإمكان التحكم فى موقع تركيز الحرارة فى الشغلة إذا استخدمت القطبية المباشرة فى حين أنه يمكن الاستفادة بخاصية التنظيف فى الشغلة إذا استخدمت القطبية العكسية وإذا أريد الجمع بين الميزتين أى تركيز الحرارة والتنظيف فإنه يمكن عكس القطبية من حين لآخر أو بمعنى آخر استخدام التيار المتردد فيتم تركيز الحرارة فى المشغولة لنصف دورة وفى النصف الآخر من الدورة يتم تنظيف المشغولة .

ويغلب استخدام التيار المتردد فى عمليات اللحام فى الوقت الحاضر بدرجة كبيرة ولم يعد التيار المستمر مستخدماً إلا فى حالات نادرة . وعلاوة

على الأسباب المذكورة بعاليه فإنه يسهل الحصول على التيار المتردد فى معظم المواقع وبالجهد وشدة التيار المنشودين وذلك باستخدام محولات للتيار زهيدة التكاليف يمكن للورش الصغيرة تحملها .

إلكترونيات التيار المتردد :

إن الاختلاف الأساسى فى كسوة الإلكترونيات المستخدمة فى التيار المتردد عن تلك المستخدمة فى التيار المستمر لينحصر فى الخصائص الكهربائية للكسوة فالتيار المتردد تصل قيمته إلى الصفر بمعدل مائة مرة فى الثانية (إذا كان تردد التيار هو خمسين هرتس أى خمسين ذبذبة فى الثانية) . ومن ثم فإن مشكلة استقرار القوس تكون لها الأهمية القصوى فى اختيار تركيب كسوة الإلكترونيات . وقد يبدو للوهلة الأولى أن اختيار عناصر يكون عمر تأينها طويلاً بحيث يتيح استمرار تأين جسم القوس أثناء انعكاس اتجاه التيار يمثل حلاً لهذه المشكلة إلا أنه للأسف لا يوجد عنصر أو مركب يطول تأينه بقدر كاف ليحقق ذلك . وعلى هذا الأساس يكون الحل البديل هو اختيار عناصر سهلة التأين . وبمراجعة جداول جهد التأين للعناصر رقم (1 - 79) نجد أن عنصرى البوتاسيوم والصوديوم هما أقل العناصر فى الجدول من ناحية الجهد اللازم للتأين .

ولذلك نختار مركبات منها مثل سليكات البوتاسيوم وتضاف هذه المركبات إلى مكونات كسوة اللحام بالتيار المستمر فتصبح صالحة للحام بالتيارين المستمر والمتردد مثل الإلكترونيات التى توصف فى المواصفات الأمريكية (AWS) برقم E 6011 ، وبرقم E 6013 .

ويجد ربنا الآن أن نستعرض العناصر والمركبات المختلفة المكونة لكسوات إلكترونيات اللحام بالتيار المستمر أو المتغير أولهما معا . وهى على النحو التالى :

SiO_2 = خفض درجة حرارة انصهار الأكاسيد وتكون خبث .
 TiO_2 = خفض درجة حرارة انصهار الأكاسيد - يساعد على استقرار القوس
 ويساعد على الانبعاث من المهبط .

| | |
|-----------------------------------|--|
| Fe O | = مساعد صهر يصنع منه خبث نقي يدخل فى كسوة الالكترودات . |
| Mg O | = يدخل فى صورة ألياف أسبستوس للمساعدة على تماسك الكسوة . |
| Na ₂ O | = يدخل مع الزجاج المائى كمادة رابطة - يساعد على استقرار القوس - يساعد على الصهر كما أنه يقلل الشد السطحي للخبث المنصهر . |
| Al ₂ O ₃ | = تنحصر فائده فى كونه يعمل كمزلق يساعد على عملية بثق الكسوة على الإلكترودات (ليست له فائدة كيميائية أو كهربائية) . |
| Ca O | = يضاف كمساعد صهر فى صورة حجر جيرى الذى يتحلل ويولد أول أكسيد الكربون . |
| Ca F ₂ | = مساعد صهر يساعد على خفض درجة حرارة الخبث . |
| Na ₃ Al F ₆ | = يساعد على خفض درجة حرارة الخبث . |

فوائد مساعد الصهر Flux وتكون الخبث :

إن شمة فرق شاسع بيد وبين مهمة مساعد الصهر وتكوين الخبث نجد ربنا التعرف عليه . فمساعد الصهر يكون أساسا مادة (عادة أكسيد معدنى) تذيب أو تتحد معها المواد غير المرغوب فيها ويكوّن معها فى النهاية الخبث الذى يطفو على سطح المنصهر (التنظيف) ويتجمد فى النهاية حيث يسهل إزالته بفصله من المعدن المتجمد التنظيف .

وفى عمليات اللحام لا بد أن يتم تنظيف السطح المطلوب لحامه باستخدام مساعد الصهر لأن قطرات المعدن المنصهر المنتقلة من الإلكترود إلى الشغلة لا تستطيع أن تبلل سطح المشغولة ما لم يكن هذا السطح الأخير نظيفا ، إذ أنه دون أن يتم هذا الإبلال لا يسهل صهر الشغلة وتظل قطرة اللحام المنصهرة تتدحرج على سطح الشغلة دون إبلالها أو الاندماج معها .

أى أن المهم هو التخلص من المواد الغريبة على السطح بواسطة مساعد الصهر ومعظم هذه المواد الغريبة هى أكاسيد الحديد والمنجنيز

والكروم والسليكون ($\text{Si O}_2 - \text{Cr}_2 \text{O}_3 - \text{Mn O} - \text{Fe O}$) وهى بجانب كونها تمثل عائقا للبلل فهى تكون عائقا للانتقال الحرارى بين القطرة المنصهرة وسطح المشغولة المطلوب لحامها . ويتم التخلص من هذه الأكاسيد بواسطة مساعد الصهر إما بالاتحاد معها أو بإذابتها مثل أكسيد الكروم .

وكما يحدث فى المعادن يمكن إضافة بعض المركبات لمساعد الصهر تهدف إلى خفض درجة حرارة انصهاره ومن ثم يمكنه أن يبدأ مهمته عند درجات حرارة منخفضة نسبيا ويصبح أكثر فعالية بإبلا له لسطح المشغولة أولاً ثم التفاعل معه بعد عزل السطح عن الهواء الجوى .

وعندما تتساقط قطرات اللحام من الإلكترود فإنها تنفذ إلى ما تحت طبقة مساعد الصهر المنصهرة . (بسبب زيادة وزنها النوعى) .

وتبدأ هذه القطرات فى الانتشار وإبلا لسطح المشغولة لحظية أن ينتهى مساعد الصهر من تنظيف هذا السطح وتكوين خبث منصهر ذى سيولة محدودة تكون بدرجة كافية تتيح له تغطية رزة اللحام ولا تكون مفرطة بحيث يمكن للخبث المنصهر من سند قطرات المنصهر واحتوائه فى حالة لحام السقف . ويمكن تحديد مهام كسوة الإلكترودات فيما يلى :

- * تهيئة جو واق من عدوان أكسجين ونيروجين الهواء الجوى .
- * العمل على استقرار القوس .
- * العمل كمساعد صهر للتخلص من الأكاسيد بتكوين بيوتكتيك معها أو بإذابتها .
- * العمل كمساعد صهر ينتج خبث له مقدرة على إبلا لسطح المشغولة والانتشار فوقه .
- * تكوين خبث سيل بقدرة محدودة يسهل انتشاره وفى نفس الوقت يستطيع احتواء قطرات المنصهر فى حالة لحام السقف .
- * تكوين خبث بصفات خاصة أهمها أن يسهل إزالته بالطرق الخفيفة بعد تجمد وصلة اللحام .

توصيف إلكترود اللحام :

إن تعدد وتنوع الالكترودات المستخدمة في عمليات اللحام قد دعى إلى وضع مواصفات تحدد خواصها وتسهل التمييز بين بعضها البعض. وتقضى هذه المواصفات بوضع رموز (أرقام وحروف شفرة) تدل على نوعية الإلكترود وخواصه ومجال استخدامه . وتختلف هذه المواصفات باختلاف الدولة التى تصدرتها . وسوف نتعرض فيما يلى (لأهم المواصفات الدولية والتى أصدرتها الدول الصناعية المتقدمة).

المواصفات الأمريكية :

وضعت هذه المواصفات جمعية اللحام الأمريكية (American Welding Society , AWS) بالاشتراك مع الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (American Society for Testing of Materials, ASTM)

ويبدأ الرقم الكودى (الشفرة) للإلكترود بحرف (E) للدلالة على أنه إلكترود يُستخدَم فى اللحام بالقوس الكهربائى . ثم يلى ذلك عدد من أربعة أرقام يدل رقم خانة الآلاف منه مع رقم خانة المئات على مقاومة إجهاد الشد لطبقة اللحام المتراكمة على الشغلة بوحدات ألف رطل على البوصة المربعة كما فى الكترود E - 6010 إذ يدل العدد 60 على أن مقاومة الشد تبلغ ستين ألف رطل على البوصة المربعة (أى ما يعادل $420 \text{ N} / \text{mm}^2$) . فى بعض الأحيان يمتد هذا العدد إلى رقم فى خانة عشرة الآلاف إذا كانت المقاومة عالية أما الرقم فى خانة العشرات فيدل على وضع اللحام المناسب له هذا الإلكترود كما يلى :

- 1 - يصلح الإلكترود لكافة الأوضاع (اللحام الأفقى على مستوى أفقى وللحام الأفقى على مستوى رأسى ولحام السقف) .
- 2 - يصلح للحام الأفقى على مستوى أفقى ولحام أفقى على مستوى رأسى فقط .

3 - يصلح للحام الأفقى على مستوى أفقى فقط .

ويُدرّج الرقم فى خانة الآحاد على خواص الإلكترود ودرجة جودة اللحام ونوع القوس ودرجة النفاذية وهذا الرقم يمكن أن يكون أحد الأرقام 0 , 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 8 وهى كما يلى :

0 - كسوة الإلكترود غنية بالسليولوز ويستخدم مع التيار المستمر مع القطبية العكسية (Reversed Polarity) (قطبية الإلكترود موجبة DC + Ve) فقط باستثناء الإلكترودات XX 20 , XX 30 حيث يمكن استخدام التيارين المتردد والمستمر بأى من القطبتين المباشرة (Straight Polarity) والعكسية . كما ينتج لحام عالى الجودة مع نفاذية عميقة . لدزة لحام مستوية أو مقعرة .

1 - كسوة الإلكترود غنية بالسليولوز ويستخدم مع التيارين المتردد والمستمر بقطبتيه المباشرة والعكسية ، اللحام المترسب ذو جودة مرتفعة مع نفاذية عميقة - تكون دزة اللحام مستوية أو مقعرة قليلا .

2 - كسوة الإلكترود غنية بالتيتانيا (أكسيد التيتانيوم Rutile) يُستخدم مع التيار المستمر بقطبية مباشرة فقط وكذلك التيار المتردد (الإلكترود سالب AC, DC - ve) - جودة اللحام المترسب متوسطة - قوس متوسط - نفاذية متوسطة - دزة متوسطة التحذب .

3 - مثل السابق فى كسوته ويستخدم مع التيار المتردد والمستمر بقطبتيه - جودة اللحام المترسب متوسطة إلى جيدة - قوس هادىء - نفاذية ضئيلة (ضحلة) - دزة متوسطة التحذب .

4 - تحتوى كسوة الإلكترود على أكسيد أو كربونات كل من المنجنيز والحديد ويستخدم مع التيارين المتردد والمستمر قطبية عكسية (DC + V) معدل ترسيب اللحام كبير - يصلح للوصلات التناكبية العميقة والتراكبية والركنية - نفاذية متوسطة - يسهل إزالة الخبث من الوصلة بعد اللحام .

5 - تتميز الكسوة بانخفاض الهيدروجين - يصلح للتيار المستمر قطبية عكسية ($DC + ve$) فقط - اللحام المترسب جودته عالية وقوس هادىء - نفاذية متوسطة - د رزة محدبة - يتميز اللحام الناتج بنقص وجود الهيدروجين .

6 - يشابه رقم (5) باستثناء إمكان استخدام التيار المتردد .

7 - إلكترود خاص تحتوى كسوته على مسحوق الحديد - معدل ترسيب اللحام مرتفع - يصلح للوصلات الشخينة وفجوات اللحام العميقة - اللحام من أعلى إلى أسفل ($AC, D.C. - ve$) .

8 - إلكترود خاص تحتوى كسوته على مسحوق الحديد والتيتانيا مع انخفاض الهيدروجين يشبه رقم (5) فى خواصه - معدل ترسيب اللحام مرتفع مع د رزة جيدة المظهر وسهولة إزالة الخبث بعدد اللحام ($AC - DC - ve$) .

كانت هذه الرموز تنحصر فى الإلكترودات المستخدمة فى لحام الصلب الكربونى بأنواعه دون الصلب السبائكى . وتحمل الإلكترودات لحام الصلب السبائكى فى غالب أنواعها رموزا ملحقة للرموز السابقة مثل A1 , B1 , B2 ... الخ

وتدل هذه الرموز الإضافية على إضافة عناصر تسابك مع الصلب الإلكترود طبقا للجدول التالى رقم (1 - 147)

| الرقم | لون الطرف | لون الموقع | الرقم | لون الطرف | لون الموقع |
|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|
| E-7015 | BLUE | RED | E-8016-C3 | WHITE | ORANGE |
| E-7015-G | NONE | RED | E-9018-G | BLACK | BLUE |
| E-7015-A1 | BLUE | WHITE | E-8018-B1 | GRAY | BLACK |
| E-7016 | BLUE | ORANGE | E-8018-B2 | GRAY | GRAY |
| E-7016-G | NONE | ORANGE | E-8018-B4 | BLACK | GRAY |
| E-7016-A1 | BLUE | YELLOW | E-8018-C1 | GRAY | BLUE |
| E-7018 | BLACK | ORANGE | E-8018-C2 | GRAY | VIOLET |
| E-7018-A1 | NONE | BLUE | E-8018-C3 | BLACK | BLACK |
| E-7018-G | GRAY | YELLOW | E-9015-G | BROWN | RED |
| E-8015-G | GRAY | RED | E-9015-B3 | BROWN | GREEN |
| E-8015-B1 | WHITE | BROWN | E-9015-B3L | BLACK | WHITE |
| E-8015-B2 | WHITE | GREEN | E-9015-D1 | BROWN | WHITE |
| E-8015-B4 | BROWN | BRONZE | E-9016-G | BROWN | ORANGE |
| E-8015-B2L | BLACK | GREEN | E-9016-B3 | BROWN | BLUE |
| E-8015-B4L | BLACK | BRONZE | E-9016-D1 | BROWN | YELLOW |
| E-8015-C1 | WHITE | BRONZE | E-9018-G | VIOLET | BLUE |
| E-8015-C2 | WHITE | BRONZE | E-9018-B3 | VIOLET | BLACK |
| E-8015-C3 | WHITE | RED | E-9018-D1 | VIOLET | VIOLET |
| E-8016-G | WHITE | YELLOW | E-10015-G | GREEN | RED |
| E-8016-B1 | WHITE | BLACK | E-10015-D2 | GREEN | YELLOW |
| E-8016-B2 | WHITE | GRAY | E-10016-G | GREEN | ORANGE |
| E-8016-B4 | BROWN | VIOLET | E-10016-D2 | GREEN | GRAY |
| E-8016-C1 | WHITE | BLUE | E-10018-G | GREEN | BLUE |
| E-8016-C2 | WHITE | VIOLET | E-10018-D2 | GREEN | VIOLET |
| | | | E-11015-G | RED | RED |
| | | | E-11016-G | RED | YELLOW |
| | | | E-11018-G | RED | BLUE |

جدول

(1 - 147)

جدول (1 - 148)

| العنصر الرمز الملحق | Mo % موليبدينم | Ni % نيكل | Cr % كروم | Mn % منجنيز | Va فاناديوم |
|------------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| A 1 | 0,5 | | 0,5 | | |
| B 1 | 0,5 | | 1,25 | | |
| B 2 | 0,5 | | 2,25 | | |
| B 3 | 1,0 | | 2,0 | | |
| B 4 | 0,5 | | | | |
| C 1 | | 2,5 | | | |
| C 2 | | 3,5 | | | |
| C 3 | | 1,0 | | | |
| D 1 | 0,3 | | | 1,5 | |
| D 2 | 0,3 | | | 1,75 | |
| G | 0,2 | 0,5 | | 1,0 | 1,0 |

وبالإضافة إلى الرموز السابق إيضاها قد تُضافُ شفرة باستخدام
الألوان (الرمز بالألوان) وضعتها الرابطة الأهلية لمنتجي المواد
الكهربائية كما هو موضح في الجدول رقم (1 - 14.7) على سبيل المثال

National Electrical Manufacturers Association (N.E.M.A.)

ولو أن معظم الشركات المنتجة للالكترودات لا تستخدم هذه الألوان .
المواصفات الألمانية :

(DIN =Deutsche Industrie Norm

=German Industrial Standard)

تَنهَجُ المواصفاتُ الألمانية نَهْجاً آخر يختلف عن المواصفات الأمريكية
السابق إيضاها إذ تبدأ الرموز بمختصر لمحتوايات كسوة الإلكترودات، ثم
توضع أرقاماً رومانية ذات دلالة معينة، ثم حرف من حروف الأبجدية الأوربية

ثم عدد من ثلاثة أرقام تفصله شرطة مائلة عن الحرف السابق، ثم عدد آخر من رقمين يفصله عن العدد السابق له شرطة مائلة .

ويُطلق الرمز (Fe So) على الإلكترويدات التي تعطى عائداً يفوق (% 120) (منسوباً إلى وزن قلب الإلكتروود كمنصهر) .

ويبدأ توصيف الإلكتروود بحرف يدل على طريقة اللحام كما فـي المواصفات فالحرف (E) يدل على اللحام بالقوس الكهربائي . يتلو ذلك الرموز الدالة على طراز الإلكتـروود (Ti, Es, Kb, Ox, Ze, So) كما أسلفنا .

ثم يأتي بعد ذلك أرقام رومانية من واحد (I) إلى أربعة عشر (XIV) باستثناء أربعة وستة IV ، VI تدل على رتبة الإلكتروود كما في الجدول رقم (1 - 150) الذي يوضح اختيار الإلكتروودات المناسبة لبعض أنواع الصلب .

ثم يوضع حرف يدل على سُمك الكسوة (d , m , s) :

d = رقيقة

m = متوسطة

s = سميك

أما الخواص الميكانيكية للمادة المصبوبة في د رزة اللحام فيرمز لها بالعدد ثلاثي الأرقام كما في الجدول (1 - 150) والذي يرمز أولها من ناحية اليسار إلى مقاومة الاجهاد، وثانيها إلى انفعال الكسر، وثالثها إلى المتانة بالصدمة مع الحـمـل (Notch) .

ثم ينتهي التوصيف بعدد ذي رقمين الأول يدل على، وضـع اللحام جدول (2 - 150) والثاني على، التيار المناسب جـدول (2 - 151) .

| الطوى على شاقصة بقطر مع سطح الكسوة | الالكترود | | | | | | رتبة | | | | | | | | نوع الصلب | | |
|--|------------------|------|------|------|------|------|--|-------------------|------|-----|-----|----|-----|---------------------------|-----------------|---------|-------|
| | المقاسات باختصار | | | | | | حدود الاستخدام والقيم = زاوية الثني = a = العانة | | | | | | | | مقاومة جهد الشد | | الرمز |
| | XIV | XIII | XII | XI | X | IX | VIII _b | VIII _a | VII | V | III | II | I | R (N / mm ²) | | | |
| 2 . s | | | | | | + | + | + | + | + | + | + | + | 420 | 340 | St34 -1 | |
| | | | | | | + | + | + | + | + | + | + | + | 450 | - 370 | St37 -1 | |
| | 3 . s | | | | | | + | + | + | + | + | + | + | 500 | - 420 | St 42-1 | |
| | | | | | | | | | | | + | | | 600 | - 500 | St 50-1 | |
| | 3,5.s | | | | | | | | | + | | | | 720 | - 600 | St 60-1 | |
| | 2 . s | | | | | | 90° | 90° | 90° | 50° | 50° | + | | 420 | - 340 | St 34-2 | |
| | | | | | | | 90° | 90° | 90° | 50° | 50° | | | 450 | - 370 | St 37-2 | |
| | | | | | | | 90° | 50° | 50° | 50° | 50° | | | 500 | - 420 | St 42-2 | |
| | 3 . s | | | | | | 90° | 90° | 90° | 50° | 50° | | | 540 | - 440 | St 46-2 | |
| | | | | 90° | 90° | + | 5° | 5° | 5° | + | + | | | 600 | - 500 | St 50-2 | |
| | | | | 5° | 5° | + | + | | | | + | | | 720 | - 600 | St 60-2 | |
| | 3,5.s | | | + | + | + | | | | | + | | | 850 | - 700 | St 70-2 | |
| | | | | | | | | | | | + | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 . s | | | | | | 180° | 180° | 180° | 90° | | | | 450 | - 370 | St 37-3 | |
| | | | | | | 7° | 7° | 7° | 5° | | | | 500 | - 420 | St 42-3 | | |
| | | | | | | 90° | 90° | 90° | 90° | | | | 540 | - 440 | St 46-3 | | |
| 3 | | | | | | 5° | 5° | 5° | 5° | | | | 540 | - 440 | St 46-3 | | |
| | | | | | | 180° | 180° | 90° | 90° | | | | 540 | - 520 | St 52-3 | | |
| | | 180° | 180° | 180° | 180° | 180° | 180° | 90° | 90° | | | | | | | | |
| | | 5° | 5° | 5° | 5° | 5° | 5° | 5° | 5° | | | | | | | | |

مناسبة ولكن قيمها غير محققة

جدول (151-1) رموز الخواص الميكانيكية
للمادة المترسبة في درزة اللحام

| مقاومة جهد الشد | | انفعال الكسر δ_5 | | المتانة بالصدمة مع الحز | |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|-------------|
| الرمز | الحد الأدنى N/mm^2 | الرمز | الحد الأدنى % | الرمز | الحد الأدنى |
| 0 | - | 0 | - | 0 | - |
| 1 | 410 | 1 | 14 | 1 | 50 |
| 2 | 440 | 2 | 18 | 2 | 70 |
| 3 | 480 | 3 | 22 | 3 | 90 |
| 4 | 520 | 4 | 26 | 4 | 110 |
| 5 | 560 | 5 | 30 | 5 | 130 |
| 6 | 600 | - | - | - | - |

جدول (151-2) رموز أوضاع اللحام والتيار
المناسب .

| الرمز | وضع اللحام | الرمز حسب المواصفات DIN 1912 |
|-------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1 | كل الأوضاع | whsfqü |
| 2 | كل الأوضاع ماعدا الرأسى الهابط | whsqü |
| 3 | الأفقية والرأسى الصاعد | whs |
| 4 | الأفقى الأرضى (التناكبى) فقط | w |

أولا : اختصارات تركيب الكسوة ودلائلها

| | |
|-------|--|
| Ti | = (Rutile) Titania = Titanoxidtyp . |
| Es | = Acidic (ore) = Erzsaurer Typ . |
| Kb | = basic loe H ₂ = Kalkbasischer Typ . |
| Ox | = Oxide = Oxydischer Typ . |
| Ze | = Cellulose = Zellulose Typ . |
| So | = Special type = Sondertyp . |
| Fe-Es | = Iron Powder Acidic = Eisenpulver sauer . |
| Ee-Ti | = Iron Power Rutile = Eiseenpulver Rutil . |

Ti - تحتوى الكسوة على التيتانيا (أكسيد التيتانيوم) فى الغالب روتايل بشخانة متوسطة إلى كبيرة ويكون الخبث مسامى متباين فى لزوجته ويسهل إزالته بعد تجميده - وتصلح الإلكترودات بهذه الكسوة لكل الأوضاع .

ويكون تعرض الوصلة للتشرخ الحرارى ضئيلا . والخواص الميكانيكية جيدة إلى متارة وتصلح هذه الإلكترودات للحام الصلب الكربونى اللاسبائكى أو ضئيل التسابك .

(تصل نسبة استخدام هذه الإلكترودات إلى نحو 70 %) .

Es - تكون الكسوة فى الغالب سميكة وتتكون من أكاسيد الحديد والمنجنيز والسليكون وبذلك يكون الخبث حامضيا ومساميا بفجوات واضحة تشبه خلية النحل ويسهل إزالته بعد تجمده .

ويساعد وجود الفيرو منجنيز فى عمليات الاختزال المنشودة . وتتميز الإلكترودات بهذه الكسوة بسرعة انصهارها (معدل انصهار مرتفع) ويكون انتقال المعدن من الإلكترود إلى المشغولة فى صورة قطرات دقيقة أما درزة اللحام فتكون إما مسطحة أو مقعرة قليلا وملساء .

وتصلح هذه الإلكترويدات للحام الأفقى ويجب أن يكون معدن المشغولة له قابلية لحام عالية وإلا نشأ احتمال تكون شروخ نتيجة للإجهادات الحرارية وبصفة خاصة فى الأشغال السميكة وإذا تجاوزت نسبة الكربون (0,20%) فى الصلب المتمد وتجاوز نسبة % 0,25 كربون للصلب غير المتمد ونسبة الكبريت حدود (0,05%) وتكون الخصائص الميكانيكية جيدة .

(نسبة استخدام هذه الإلكترويدات تصل إلى 3% فقط).

Kb - الكترودات قاعدية تتصف بِسُمك كسوة غنية بالكالسيوم أو أى كربونات قلوية وفلورسبار (كلوريد الكالسيوم) ، يتكون الخبث منها بلون بنى قاتم مائل إلى الأسود يصعب إزالته بعض الشيء . وتخلو د رزة اللحام تقريبا من الأكاسيد والغازات وتحدبها قليل ومقاومتها عالية للتصلد بالتعتيق وتصلح هـ هذه الإلكترويدات للحام فى جميع الأوضاع ويغلب استخدامها مع التيار المستمر مع قطبية موجبة للإلكتروود . وتُستخدم هذه الإلكترويدات فى لحام القطاعات الثخينة والمنشآت الجسيمة لأن د رزة اللحام لا تتعرض للتشريح سواء على الساخن أو على البارد كما أنها قابلة للتشكيل وتصلح كذلك للحام الصلب السبائكى الفقير مع نسبة كربون مرتفعة (بشرط أن لا تتصلد من جراء التسخين أثناء اللحام) ولكى نصل إلى أفضل خواص لهذه الإلكترويدات يجب أن تكون الكسوة جافة ويمكن أن يتم التحفيف قبيل اللحام عند درجة حرارة (250 °C) لمدة نصف ساعة . ويمثل استخدام هـ هذه الإلكترويدات نسبة مئوية تبلغ (24%) .

Ox - تحتوى الكسوة مواد عضوية قابلة للاحتراق وتتصف بِسُمك كسوة متوسط وتولد منها غازات كثيفة أثناء اللحام وتكون الد رزة محدبة قليلا وذات سطح خشن غير منتظم . ويفضل استخدامها فى اللحام الرأسى هبوطا .

Ze - تكون كسوتها سميكة محتوية أساسا على أكسيد حديد مع أو بدون إضافات من ثانى أكسيد المنجنيز .

ويكون الخبث حامضيا .

ونظراً للتأثير المؤكسد للكسوة فإن عناصر الكربون والمنجنيز تحترق ويقل نسبة وجودها في درزة اللحام (الأمر الذي يقلل مقاومة الإجهادات) .

ويكون الخبث متماسكا وينفصل عادة تلقائيا عن الوصلة بعد اللحام . وتكون الدرزة ناعمة مستوية عرضة لتكوين شروخ على الساخن واستخدام هذه الإلكترويدات نادر بصفة عامة .

So - وهي الإلكترويدات الخاصة مثل الإلكترويدات المستخدمة في اللحام والقطع تحت الماء والإلكترويدات الغائرة الاحتراق ($Tf\ So$) والإلكترويدات ($Fe-So$) المحتوية على مسحوق الحديد بنسبة عالية (120%) وكذلك تلك التي لم تدرج تحت أنواع Ti ، Es بسبب طبيعة كسوتها .

| تيار مستمر فقط | تيار مستمر أو متردد الجهد اللاحم في المحول (حد أدنى) | | | قطبية الإلكترويدات |
|----------------|---|------|-----|-----------------------------------|
| | 90 V | 70 V | 50V | |
| 0 | 7 | 4 | 1 | جيد في كـ القطبيات |
| - 0 | 8 | 5 | 2 | أحسن في قطبية سالبة للإلكتروود |
| + 0 | 9 | 6 | 3 | أحسن في قطبية موجبة للإلكتروود |

ويمكن إعطاء المثال التالي للتطبيق

الرقم الكودي الألماني $Es\ III, Ti\ VII\ m, kb\ IXs$
الرقم المعادل (ISO) $Ti\ VII\ m/ 322 / 12$.

وهو يدل على إلكترود ذي كسوة متوسطة السمك طراز Ti رتبة VII كما فى الجداول السابقة أما الخواص الميكانيكية فهى كما

يلى: $\sigma_R > 480 \text{ N/mm}^2$, $\delta_5 > 18\%$, $\alpha_{dR} > 70 \text{ J/cm}^2$

وهذا الإلكترود يصلح للحام فى جميع الأوضاع وبالتيار المستمر بقطبية سالبة للإلكترود . أو بتيار متردد ذى جهد يبلغ 50 V على المحول عند اللا حمل .

ومن ناحية أخرى يمكن التعرف على خواص الإلكترودات بصفة جزئية من تحليل الخبث المتخلف بعد عملية اللحام ويميز الخبث بالنسبة بين قاعدية الخبث مثل (Ca O) إلى حامضيته مثل (Si O₂) فإذا كانت (Ca O/Si O₂ < 1) كان الخبث حامضياً أما إذا كانت (Ca O/Si O₂ > 1.3) كان الخبث قاعدياً أما إذا وقعت النسبة بين 1 ، 1.3 ، فإن الخبث يكون محايداً ويوضح الجدول التالى بعض الأمثلة لتحليل الخبث الناتج عن بعض الإلكترودات .

جدول (1 - 155)

| الإلكترود | CaO SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | MnO | FeO | SiO ₂ | TiO ₂ | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O |
|--------------|-------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|------------------|-----|------|-------------------|------------------|
| Es VIII s | 0,02 | 3,8 | 22,5 | 22,6 | 43,0 | 0,8 | 3,3 | 0,9 | 0,1 | 2,7 |
| Ti VII m | 0,02 | 3,5 | 11,0 | 12,0 | 17,4 | 49,5 | 1,9 | 0,4 | 0,8 | 2,5 |
| Kb IX s/Kb X | 1,9 | 6,0 | 4,0 | 6,0 | 24,0 | 4,3 | 1,1 | 45,2 | 1,0 | 0,8 |
| Ze VII m | 0,03 | 1,6 | 9,2 | 17,3 | 21,8 | 42,8 | 6,5 | 0,6 | 1,0 | 1,8 |
| Ox | 0,03 | 8,3 | 9,6 | 53,2 | 20,6 | 0,3 | 5,2 | 0,7 | 1,0 | 0,7 |

ينقسم التوصيف البريطاني إلى قسمين: الأول، إجباري، والآخر اختياري. ويحتوي القسم الإجباري من التوصيف على الحرف (E) في أوله شأنه في ذلك شأن التوصيف الأمريكي والألماني يدل على أن الإلكتروود يستخدم في لحام القوس الكهربائي اليدوي يتبعه عدد من رقمين يدل على مقاومة إجهاد الشد وجهد حد الخضوع للمعدن المصبوب في درجة اللحام كما هو موضح في الجدول (1 - 156) .

جدول (1 - 156)

| رمز الإلكتروود | مقاومة جهد الشد σ_R N/mm ² = MPa | الحد الأدنى لجهد الخضوع N/mm ² = MPa |
|----------------|---|--|
| E 43 | 430 - 550 | 330 |
| E 51 | 510 - 650 | 360 |

يلي ذلك رقمين يدلان على انفعال الكسر ومقاومة الصدمة كما يلي :

جدول (2 - 156) الرقم الأول للانفعال ومقاومة الصدمة
(الثانية)

| الرقم الأول | الحد الأدنى للانفعال الكسر % E 43 E 51 | درجة الحرارة (°C) عند قيمه صدمة مقدارها 28 J |
|-------------|--|--|
| 0 | غير موصفة | غير موصفة |
| 1 | 18 20 | + 20 |
| 2 | 18 22 | 0 |
| 3 | 20 24 | - 20 |
| 4 | 20 24 | - 30 |
| 5 | 20 24 | - 40 |

جدول (1 - 157) الرقم الثانى للانفعال ومقاومة
الصدمة

| الرقم الثانى | الحد الأدنى لانفعال الكسر % E 43 E 51 | خواص الصدمة قيمة الصدمة J E 43 E 51 | درجة الحرارة °C |
|-----------------|--|---|-----------------------|
| 0 | غير موصفه | غير موصفه | - |
| 1 | 22 | 47 | + 20 |
| 2 | 22 | 47 | 0 |
| 3 | 22 | 47 | - 20 |
| 4 | غير مناسب | 41 | - 30 |
| 5 | لا توجد إلكتروادات موصفه | بهذا الرقم | - 40 |
| 6 | 47 | غير مناسب | - 50 |

يتبع هذين الرقمين حرف أو حروف تدل على نوع الكسوة كما يلى :

- A = حامضى (أكسيد حديد) .
 AR = حامضى (روتايل) .
 B = قاعدى .
 C = سليلوزى .
 O = مؤكسد
 R = روتايل (كسوة متوسطة) .
 RR = روتايل (كسوة سميكة) .
 S = أنواع أخرى .

وبهذا ينتهى القسم الإجبارى للتوصيف والذى يحدد المعالم الرئيسية
 أما القسم الاختيارى للتوصيف فيبدأ بعدد مكون من ثلاثة أرقام تتحدد
 بها كفاءة الإلكترود الاسمية (كفاءة الصب فى الدرة أى نسبة وزن

قلب الإلكترود إلى المعدن المصبوب في الدرزة (ويذكر هذا الرقم إذا تجاوزت الكفاءة مقدار (110)) ويقرب هذا العدد إلى أقرب عشرة (تجبر الخمسة وما يزيد عنها لقيمة العشرة التي تعلوها) .

يتبع ذلك أرقام تدل على أوضاع اللحام المناسبة كما في الجدول (1-158).

جدول (1 - 158) أوضاع اللحام

| |
|---|
| 1 = كل الأوضاع . |
| 2 = كل الأوضاع ماعدا الرأسى الهابط . |
| 3 = أفقى مسطح - لحام الركن - أفقى على رأسى . |
| 4 = أفقى مسطح . |
| 5 = أفقى - رأسى هابط - لحام ركنى - أفقى على رأسى . |
| 6 = كل الأوضاع أو خليط أوضاع ليست مذكورة فيما سبق . |

كما يتلو ذلك رقم يدل على نوع التيار والجهد كما في الجدول

(1-159) .

جدول (1-159) تيار اللحام وجهده

| الرقم الرمزى | تيار مستمر مع القطبية المناسبة للإلكترود | تيار متردد الحد الأدنى لجهد الدائرة المفتوحة |
|-----------------|---|--|
| 0 | تذكر القطبية من صانع الإلكترود | لا يناسب التيار التردد |
| 1 | + أو - | 50 |
| 2 | - | 50 |
| 3 | + | 50 |
| 4 | + أو - | 70 |
| 5 | - | 70 |
| 6 | + | 70 |
| 7 | + أو - | 90 |
| 8 | - | 90 |
| 9 | + | 90 |

كما يضاف حرف (H) للإلكترودات التي لا ترسب أكثر من 15 ملّي لتر من الأيدروجين المنتشر في كل 100 جرام من المعدن العرسب إذا تم التخزين طبقاً لتعليمات المصنع .

مثال على المواصفات البريطانية British Specifications 639
الإلكترودات H Electrodes 1 . 3 . 130 . RR . E⁵¹ . 33

- E = إلكترود مكسو وخاص باللحام بالقوس الكهربائي اليدوي .
- 51 = (جدول 1-156) حيث تقع مقاومة جهد الشد للمعدن العرسب بين 510 ، 650 N/mm² وجهد الخضوع لا يقل عن 360 N/mm²
- 3 = (جدول 2 - 156) انفعال الكسر لا يقل عن 22 مع مقاومة صدمة لا تقل عن 28 J عند 20 °C
- 3 = (جدول 1 - 157) قيمة ثانية لانفعال الكسر لا تقل عن 20% ومقاومة صدمة لا تقل عن 47 J عند 20°C -
- RR = الكسوة روتايل ونسبة قطر الكسوة إلى قطر قلب الإلكترود هي 1,5 إلى 1 .
- 130 = يحتوى الإلكترود على مسحوق حديد في الكسوة ولذلك تزيد نسبة المصبوب في اللحام عن ما يحتويه الإلكترود في قلبه وتقع هذه النسبة بين حدود 125 ، 134 % (وزن المعدن المصبوب إلى وزن قلب الإلكترود) .
- 3 = يمكن استخدام الإلكترود في الوضع الأفقي المسطح وفي لحام الأركان الأفقية الرأسية . جدول (1 - 158)
- 1 = (جدول 1 - 159) يمكن استخدام الإلكترود مع التيار المستمر بقطبية مباشرة أو عكسية أو مع التيار المتردد مع جهد لا يقل عن 50 V للدائرة المفتوحة .
- H = لا يجوز أن تتجاوز نسبة الأيدروجين عن 15 مليلتر لكل 100 جرام من اللحام المصبوب إذا اتبعت تعليمات التخزين المذكورة من المصنع .

كانت هذه أهم المواصفات القياسية الدولية ولا يجب أن يغيب عن الذهن أن هناك العديد من المواصفات الأخرى كاليابانية والفرنسية والروسية وغيرها وهذه يمكن الرجوع إليها من مصادرها .

اختيار الإلكترود المناسب :

إن الإلكترود الأمثل في الاختيار هو الذي يحقق استقراراً جيداً للقوس ويعطي لحاماً مترسباً حسن المظهر (منتظم وناعم) ويكون ذو معدل ترسب عال لمعدن اللحام - أقل تناثراً أثناء اللحام - كما يوفر أحسن خواص ميكانيكية للوصلة بجانب سهولة إزالة الخبث بعد اللحام
جدول (1 - 161)

| النوع | التوصيف الأمريكي | نوع التيار وقطبيته | وضع اللحام | نتائج اللحام |
|--------|------------------|--------------------|-------------|---|
| C ٢ | E - 6010 | DC (+) * | كل الأوضاع | تجمد سريع - نفاذ عميق - درز مستوية لكل أغراض اللحام |
| | E - 6011 | DC (+) , AC | كل الأوضاع | تجمد متوسط - نفاذ ضئيل - أزواج غير دقيق - درز لحام شكلها جيد - طرشة ضعيلة . |
| | E - 6012 | DC (-) *, AC | كل الأوضاع | ملء سريع - ترسيب كبير - لحام مجرى عميق - مسار وحيد |
| | E - 6013 | DC (+, -) , AC | كل الأوضاع | مسحوق حديد - ترسيب كبير - نفاذ عميق |
| | E - 6014 | DC (-) , AC | كل الأوضاع | مسحوق حديد - نفاذ ضئيل - سرعة عالية |
| | E - 6020 | DC (+, -) , AC | أرضى + أفقى | مسحوق حديد - ترسيب كبير - مسار وحيد |
| | E - 6024 | DC (+, -) , AC | أرضى + أفقى | مسحوق حديد - ترسيب كبير - مسار وحيد |
| | E - 6027 | DC (+, -) , AC | أرضى + أفقى | مسحوق حديد - ترسيب كبير - مسار وحيد |
| | E - 7014 | DC (+, -) , AC | كل الأوضاع | مسحوق حديد - ترسيب كبير - مسار وحيد |
| | E - 7024 | DC (+, -) , AC | أرضى + أفقى | مسحوق حديد - ترسيب كبير - مسار وحيد |
| | | | | المسارات |
| | | | | |

تكملة جدول (1 - 161) ;

| النوع | التوصيف الأمريكي للإلكتروود | نوع التيار وقطبيته | وضع اللحام | نتائج اللحام |
|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|---|
| منخفض المولد روجين | E - 6015 | DC (+) | كل الأوضاع | لحام الصلب الفنى بالكبريت |
| | E - 6016 | DC(+), AC | كل الأوضاع | والكربون التى تميل إلى |
| | E - 6018 | DC (+), AC | كل الأوضاع | تكوين مسامية وشروخ تحت |
| | E - 7016 | DC (+), AC | كل الأوضاع | د رزة اللحام |
| | E - 7018 | DC (+), AC | كل الأوضاع | |
| | E - 7028 | DC (+), AC | أرضى + أفقى | |
| صلب مقاوم للصدأ | E-308-15,16 | DC , AC | كل الأوضاع | لحام الصلب المقاوم للصدأ |
| | E-309-15,16 | DC , AC | كل الأوضاع | لحام سبائك المستخدمة |
| | E-310-15,16 | DC , AC | كل الأوضاع | في درجات الحرارة المرتفعة والمعادن غير المتشابهة |
| | E-316-15,16 | DC , AC | كل الأوضاع | لحام الصلب المقاوم للصدأ تتطلب مقاومة عالية للتآكل وعند درجات الحرارة المرتفعة |
| | E-3437-15,16 | DC , AC | كل الأوضاع | لحام الصلب المقاوم للصدأ واللحامات الجيدة ، يحتوى كربون جيد ، يقلل النوع التآكل بالحف لحام كل أنواع الصلب المقاوم للصدأ |
| صلب التسابك | E-7011-A1 | DC(+), AC | كل الأوضاع أفقى | للصلب الكربونى الموليد انى |
| | E-7020-A1 | DC(+)(-), AC | كل الأوضاع | للصلب فقير التسابك مرتفع مقاومة جهد الشد |
| | E-8018-C3 | DC(+), AC | كل الأوضاع | للصلب فقير التسابك مرتفع فى مقاومة جهد الشد |

* DC = تيار مستمر (+) = قطبية عكسية الإلكتروود موجب
 (-) = قطبية مباشرة الإلكتروود سالب AC = تيار متردد

ولإمكان تحقيق ذلك يجب النظر بعين العناية إلى العوامل التالية حتى يمكن اختيار الإلكترود الأمثل .

الخواص الميكانيكية للجزء المطلوب لحامه :

يجب أن تكون الخواص الميكانيكية لإلكترود اللحام متناظرة مع الخواص الميكانيكية للمعدن الوصلة على وجه التقريب .

ومن البديهي أنه لتحقيق ذلك يجب أن يكون التركيب الكيميائي لمادة الإلكترود (القلب دون الكسوة) متناظرة تقريبا لمادة الوصلة .

وكما سبق أن رأينا توجد إلكترودات متعددة المواصفات لمعدن القلب فبعضها مناسب للحام الصلب الكربوني والبعض الآخر للصلب السبائكي وهناك الأنواع التي تناسب الأنواع الخاصة من الصلب السبائكي ذي المقاومة العالية للإجهادات .

وعلى هذا الأساس فإن أول عامل يجب أخذه في الاعتبار قبل البدء في أي عملية لحام هو التعرف على التركيب الكيميائي للمعدن المطلوب لحامه واختيار الإلكترود المناسب في تركيب قلبه لهذا المعدن .

وتعطي الشركات المصنعة للإلكترودات التوصيات المناسبة لحدود استخدام الإلكتروداتها طبقا لتوصيفها الخاص وكذا لك التوصيف المتبع في الدولة التابعة لها .

قطر الإلكترود :

يختار الإلكترود بصفة عامة بحيث لا يزيد قطره بأي حال من الأحوال عن سلك الشغلة المطلوب لحامها به .

وعلى سبيل المثال نجد أن العامل يوفر نصف الوقت إذا استخدم الإلكترودات بقطر ستة مليمترات بدلا من الإلكترودات ذات قطر أربع عشرة

مليمترات من نفس النوع ، وإن من أهم ميزات الإلكترودات السميكة ليس فقط إمكانية اللحام بشدة تيار عالية بل أيضا توفير الخطوات اللازمة لتغيير الإلكترود .

ولهذه الأسباب فإن الاعتبارات الاقتصادية تشير إلى استخدام الإلكترودات السميكة .

وفي اللحام الرأسى ولحام السقف يكون أقصى قطر للإلكترود يمكن استخدامه هو أربعة مليمترات بغض النظر عن سمك الشغلة وذلك لأن الإلكترودات الأكثر سمكا يصعب التحكم فى ترسب قطرات منصهرها وفى هذا السبيل تختار إلكترودات سريعة التجمد للحام الرأسى ولحام السقف مثل (E - 6010) .

ويتأثر قطر الإلكترود إلى حد كبير بشكل الوصلة المطلوب لحامها فعلى سبيل المثال نجد أنه فى لحام القطاعات السميكة ذات شغرة ضيقة شكل حرف (V) يستخدم إلكترودات صغيرة القطر لخط اللحام الأول الذى يمثل خط الجذر (E - 6010, E-6020) وذلك لإمكان تحقيق تغلغل تمام عند جذر الوصلة ويمكن أن يتبع المسار الأول بمسارات أخرى باستخدام إلكترودات أكبر قطرا .

تصميم الوصلة :

تُختار الوصلات التى لم تشطب (تشطف) أطرافها بدرجاة كافية إلى إلكترودات ذات تغلغل كبير وتكون سريعة التجمد ورغم أن بعض الإلكترودات تحوز على هذه الخواص إلا التناثر الحادث أثناء اللحام يحتاج إلى مهارة من العامل خاصة للحد منه ومن ناحيته .

وضع اللحام :

يلعب وضع اللحام دوراً هاماً فى اختيار الإلكترودات فبعض الإلكترودات تعطى نتائج جيدة فى اللحام الأفقى الأرضى

بينما يُصمَّم البعض الآخر للحام الرأسى أو الأفقى على مستوى رأسى ولحام السقف .

شدة تيار اللحام :

كما سبق أن رأينا أن بعض الإلكترويدات تعمل مع التيار المتردد وبعضها مع التيار المستمر بقطبية مباشرة والبعض الآخر بقطبية عكسية كما أن بعض الإلكترويدات مُصمَّم بحيث يمكن استخدامها مع كل من التيارين المتردد والمستمر .

ولما كان نوع التيار يؤثر على جودة اللحام فإن التمسك باستخدام التيار المناسب فى كل حالة يعتبر أمرا حيويا جدول (1 - 161)

الكفاية الإنتاجية :

إن معدل ترسيب المنصهر من الإلكترويدات أثناء عملية اللحام ليعتبر العامل الأساسى الحاسم فى تقدير معدل الإنتاج وكفايته فكلما كان اللحام سريعا كلما كان اقتصاديا . ويتحكم فى هذا الترسيب المذكور نوعية الإلكترويد المستخدم فليست كل الإلكترويدات يمكن أن تعطى معدل ترسيب سريع مع تيار شديد دون أن تضر بمظهر دزة اللحام (شكل ونعومة السطح وقلّة التموج) فما لم تكن الإلكترويدات مخصصة للترسيب السريع فإنها قد تشكل صعوبة كبيرة فى الاستخدام فى هذا السبيل .

ظروف استخدام الجزء الملحوم :

إن ظروف استخدام وتشغيل الجزء الملحوم تتطلب اختيارا واعيا لأسلوب ترسيب المعدن المنصهر من الإلكترويد فمثلا البيئية المصدثة أو لدونة الوصلة أو المقاومة العالية للإجهادات كل هذه تشكل متطلبات يجب أخذها فى الاعتبار عند اختيار الإلكترويدات المستخدمة لتوفى بالمطلوب .

حفظ وتخزين الإلكترودات :

إن بعض الإلكترودات يكون باهظ التكاليف ولذلك فإن استغلال كل جزء منها يصبح أمراً حيوياً كما أن الحفاظ على الإلكترودات بصفة عامة وتخزينها يعتبر من الأمور الهامة من الناحية التكنولوجية لإمكان الحصول على لحام جيد .

ويتمثل الحفظ والتخزين الجيد في البعد عن الرطوبة وعوامل التآكل الميكانيكي كالإجهادات حتى لا تتدركسوتها . ولإنقاذ الإلكترودات التي قد تكون قد ترطبت بسبب النقل البحري أو التخزين في أماكن غير جافة يمكن تجفيفها في هواء جاف متجدد ساخناً عند درجة حرارة تتراوح بين 110 ، 200°C ولأزمة تتراوح بين عشر ، ستين دقيقة .

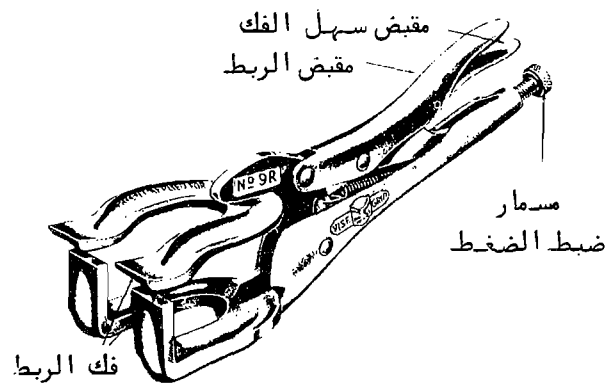
أساليب اللحام بالقوس الكهربائي والإلكترودات المكسوة أو المحشوة

شكل (2 - 167) :

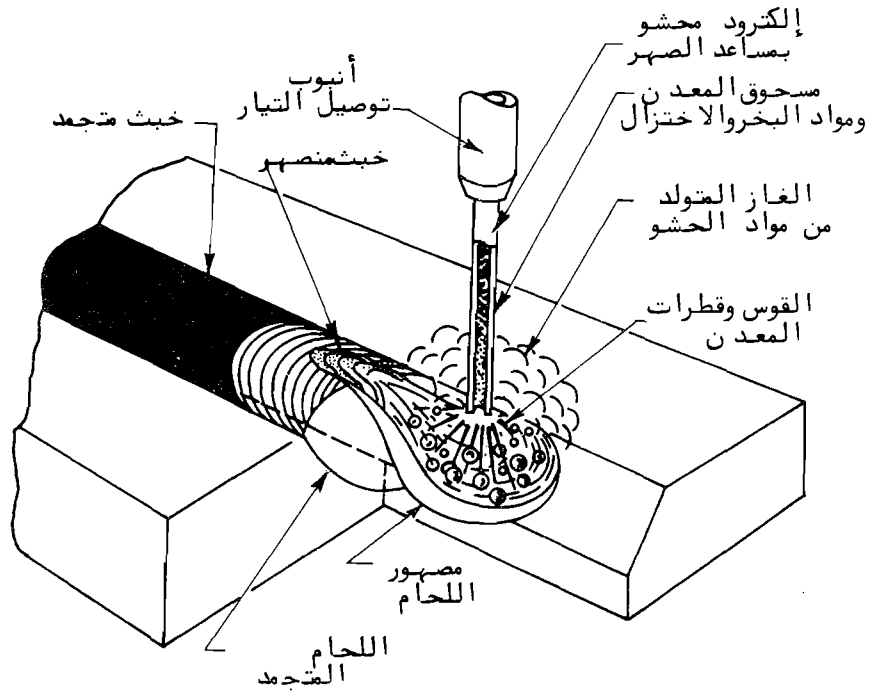
إن ممارسة عملية اللحام بالقوس تتطلب بعض الإجراءات والتوصيات التي يجدر مراعاتها لكي يمكن التوصل إلى نتائج مثلى . ومن هذه الإجراءات عمليات الضبط الأولى ومسك الإلكترود ثم إشعال القوس ثم ممارسة خطوط اللحام في الاتجاهات والأوضاع المختلفة .

وفي كل عمليات اللحام بالقوس الكهربائي يجب ملاحظة النقاط التالية لإمكان التوصل إلى أفضل النتائج وأكثرها أمناً .

- فحص ماكينة اللحام قبل البدء وضبطها عند التيار المختار المناسب للشغلة والإلكترود .
- اختيار القطبية المناسبة إذا كان التيار المستخدم مستمراً .
- يجب أن يكون المكان مؤمناً بعدم تواجد مواد ملتهبة في موقع اللحام إذ قد يتطاير شرر يؤدي إلى حريق .
- مراجعة سلامة الكبلات وإحكام توصيلها مع الإلكترود والمشغولة شكل (1-167) .
- التأكد من أن سطح النضد المعدني والشغلة المطلوب لحامها



شكل (1 - 167)



شكل (2 - 167)

- جافين وغير ملوثين وخاليين من الصدأ أو الشحومات .
- إذا كان التيار المستمر هو التيار المختار المناسب للشغلة يجب التأكد من صحة القطبية .
- لا تضع ماسك الإلكتروود (البنسة) على منضدة اللحام عند مرور التيار .
- فك مسك الإلكتروود من المقبض إذا التحم مع الشغلة .
- اقل مفتاح توصيل التيار لماكينة اللحام بعد الانتهاء من اللحام .
- لا تنسى إزالة الخبث بعد ممارسة أى عملية لحام مباشرة وخاصة عند ما تتعدد المسارات ويجب أن يستمر التنظيف لإزالة الأكاسيد السطحية أى حتى يصبح السطح لامعا .
- يضبط مصدر التيار على شدة وجهد التيار المناسبين للإلكتروود المختار ويلاحظ أن التيار الموصى به للإلكتروود يكون تقريبا ويجب إعادة ضبط شدة التيار عند البدء فى عملية اللحام (بالتجربة والتصحيح) هنا تلعب خبرة عامل اللحام دورا هاما فى تقدير التيار الصحيح .

سلك الإلكتروودات :

يقبض على طرف الإلكتروود العارى (الجزء غير المكسو) بواسطة الماسك الكهربائى بعد تنظيف فكى الماسك لتحقيق التلامس الكهربائى الجيد بينهما وبين الإلكتروود (لا تمس النضد بماسك غير معزول) ويفضل تحميل الكبل على كتف أو ركبة العامل حتى يقل التحميل المباشر على اليد والذى قد يودى إلى سرعة التعب .

إشعال القوس

يمكن بدء القوس بإحدى طريقتين النقر أو القدح . وفى طريقة النقر يقرب الإلكتروود من الشغلة حتى يلمسها ثم يبعد فوراً إلى مسافة ضئيلة ($\approx 3 \text{ mm}$)

أما فى طريقة القذح فإن الالكترود يمرر فوق الشغلة بحيث يأخذ طرفه مسار قوس من دائرة لتشكيل هذه الحركة الاقتراب من الشغلة والابتعاد عنها فى حركة واحدة ثم يحتفظ بطرف الإلكترود على مسافة صغيرة من الشغلة ($\approx 3 \text{ mm}$)

ويفضل اللحامين ذوى الخبرة الطويلة الطريقة الأولى بينمما تفضل الطريقة الثانية (القذح) للمبتدئين فى ممارسة عملية اللحام . ويلاحظ فى كلا الطريقتين أن يتم الاحتفاظ بطرف الإلكترود فى نهاية الحركة على بعد من الشغلة يعادل قطر الإلكترود كما يجب أن تكون لحظة التلامس الأولى قصيرة جداً (خاطفة) وإلا التحم الإلكترود بالشغلة وإذا حدث ذلك فيجب نزع بقوة وبسرعة أو فى أسوأ الظروف فك مسكه من المقبض ويجب التمرس على عملية بدء القوس هذه عدة مرات حتى يتم إجادتها .

ويمكن أن يتم التدريب على بدء القوس باستخدام لوح من الشغلة سمكه يتراوح بين ثلاثة وستة مليمترات واستخدام الكترود قطره ثلاثة أو أربعة مليمترات من أحد الأنواع القليلة .

إجراء مسارات اللحام :

ارسم بالطباشير على الشغلة خطوطاً متوازية طول كل منها نحو 25 mm مليمتراً وتبعد عن بعضها البعض بنحو 3 مليمترات .

إجر عمليات لحام خطية على هذه الخطوط من اليسار إلى اليمين محتفظاً بالإلكترود رأسياً على سطح الشغلة أو مائلاً بزاوية تتراوح بين 15° ، 25° درجة فى اتجاه الحركة .

حاول أن تتم اللحام بالسرعة الكافية التى تحقق للمعدن المترسب أن ينفذ فى الشغلة . ستلاحظ صوت قرقعة أو فحيح للقوس إذا كان اختيار شدة التيار وطول القوس صحيحين . لاحظ هذا الصوت وعود أدنك عليه فهو دليلك للتعرف على القوس المناسب .

وإذا كان طول القوس طويلا أكثر من اللازم فإن القوس سيكون صوته
ذى طنين . أما إذا كان القوس قصيرا فإن صوته يصحبه فرقعات
واضحة .

راقب البركة المنصهرة للمعدن وكيفية تجعد مؤخرتها كلما تقدم
تحرك الإلكتروودات إلى الأمام ، وأن معدل تجعد ها يمكن التحكم فيه
بسرعة تقدم الإلكتروود . ولنعلم أن شكل خط التجعد المكون في النهاية
لدرزة اللحام يعطى دليلا على مدى نجاح عملية اللحام فالمظهر المنتظم
الأمس اللامع يدل على عدم اختلاط الخبث المتخلف باللحام ومن ثم
فالحام سليم . لأن الخبث قصيف وإذا اختلط باللحام فإنه يضعفه .
حاول التمرس على اللحام بتيارات مختلفة للتعرف على صوت وعلى نتائج
ذلك في كل حالة لتكتسب خبرة في هذا المجال . لاحظ أنه في حالة
انخفاض تيار اللحام عن القدر المعتدل فإن الحرارة المتولدة لا تكفى
لصهر معدن الشغلة وإن انصهار الإلكتروود غير كاف للامتزاج بالشغلة
بل يكاد يلتصق بها فقط في صورة قطرات يسهل نزعها .

أما إذا زاد التيار عن الحد الصحيح فإن معدل صهر الإلكتروود
سيكون عاليا وعمق الانصهار بالشغلة كبيرا .
من ذلك نستنتج أن العناصر التالية تكون هى الحاسمة فى التحكم
فى جودة اللحام .

- اختيار الإلكتروود الصحيح من ناحية نوعه (مواصفاته) بالنسبة
للشغلة وقطره وملائمته للتيار المختار .

- اختيار الطول الصحيح للقوس - فكما سبق أن أسلفنا يلعب طول
القوس دورا فى معدل الانصهار وعمق التغلغل فى الشغلة
وصوت القوس ومدى اختلاط الخبث بالمنصهر . ويتوقف طول القوس
على قطر الإلكتروود المستخدم وعلى نوع اللحام المطلوب . فالقطر الصغير
يحتاج إلى قوس قصير ويمكن القول كقاعدة تقريبية يجب أن يبلغ طول
القوس نحو قطر الإلكتروود . إلا أنه يجب عدم التقيد بهذه القاعدة
فى اللحام الرأسى ولحام السقف حيث يتطلب الأمر قوسا أكثر قصيرا

لإمكان التحكم فى بحيرة المنصهر .

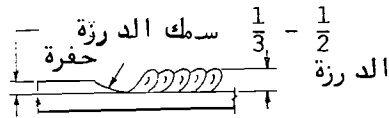
- معدل صحيح للتقدم بالإلكتروود - إذا كانت سرعة التقدم كبطيئة - فإن فترة بقاء البركة المنصهرة لا تكون طويلة ومن ثم فلا تتساح لها الفرصة للتخلص من الخبث المحتوى داخلها . وتكون د رزة اللحام ضيقة وخشنة أو إذا كان معدل التقدم بطيئا فإن المعدن المنصهر سيتركز مكونا خطأ متحدا وعريضا دون مبرر .

العيوب الشائعة :

يمكن ايجاز العيوب الشائعة أثناء اللحام فيما يلى :

- تكوين الحفرة بعمق صحيح .

إنه بمجرد بدء القوس وملاسته للشغلة فإن سطحها يبدأ فى الانصهار مكونا بركة من المنصهر على حفرة من المتجمد يتوقف حجمها على طول القوس وشدة التيار ومعدل التقدم ونوع الإلكتروود ويسمى عمق الحفرة بمقدار التغلغل وهو ما يجب أن يتراوح بين ثلث ونصف سمك د رزة اللحام شكل (1 - 171)



شكل (1 - 171)

إن من المفروض أن تندمج القطرات المنصهرة من الإلكتروود مع بركة المنصهر فى الشغلة لإمكان تحقيق لحام سليم وجيد . ومن هنا يجب التحكم فى العوامل الأربعة السابقة بحيث يحافظ على عمق الحفرة وارتفاع الد رزة بالنسب المذكورة . فإذا كان معدل انصهار الإلكتروود ضعيفا تخلفت حفرة غير مملوءة على طول الد رزة

الأمر الذى يضعف مقاومة وصلة اللحام .

يحدث هذا فى غالب الأحيان عند بدء عملية اللحام أو عند تبديل الإلكترود الجديد بالمستهلك .

- تكوين جيوب سفلية أو تراكم للطبقات المترسبة :

تنشأ هذه الجيوب إذا كانت شدة التيار مفرطة حيث تتخلف قنوات على جانبي درزة اللحام فى الشغلة وهو ما يؤدي إلى ضعف مقاومة الوصلة للإجهادات . أما التراكم فهو عكس الجيوب وينشأ عند ما يكون التيار ضعيفا حيث تتساقط قطرات منصهر الإلكترود دون أن تندمج مع بركة منصهر الشغلة التى تكون ضيقة العرض فتفيض القطرات على جانبي الدرزة متراكبة مع سطحها دون أن تلتحم معه وتبدو كنقطة الزئبق التى توضع فوق أى سطح جامد ولا تبلله .

إجراء لحام خطى :

يمكن التمرس على الخطوات السابقة وإتقانها قبل البدء فى عمل لحام خطى أفقى أرضى يرسم خطوط طولية على الشغلة بالطباشير وممارسة لحام عليها .

ويمكن اختيار شغلة أبعادها (100 x 150 x 6 mm) وترسم الخطوط متوازية تبعد عن بعضها البعض بمقدار نحو 10 mm ويختار إلكترود من نوع (E - 6010 أو E - 6011) بقطر (3 mm) .

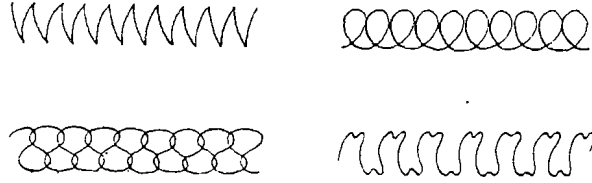
ابدأ اللحام من ناحية اليسار متجها إلى اليمين . ويمكن تكرار هذا التمرين بتغيير اتجاه اللحام ثم رأسيا صعودا وآخر هبوطا .

ويمكن تكرار ذلك مرة ثانية برسم خطوط متوازية مع علامات على كل خط على أبعاد قدرها (50 mm) . ثم ابدأ اللحام فى الجزء الأول من الخط ثم توقف عن اللحام وابدأ القوس مرة أخرى لتكتمل

ما بدأته وهكذا للتمرس على إعادة بدء القوس ومحاولة مساواة خط
اللحام عند مواقع التوقف .

الحركة الحياكية للإلكتروود :

تستخدم هذه الحركة الإضافية للإلكتروود بقصد زيادة عرض وحجم
درزة اللحام وذلك في حالة قنوات (فجوات) اللحام العميقة
والأركان والتي تحتاج إلى عدة مسارات لملئها وتأخذ هذه الحركة
عدة أشكال كما هو في الشكل (1 - 173)



شكل (1 - 173)

ويمكن التمرس على هذه الحركات الإضافية على ألواح مشابهة
للتمارين السابقة .

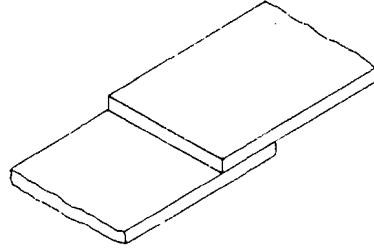
كسوة الأسطح بطبقات من اللحام :

يُستفاد بهذه الطريقة في كسوة الأسطح البالية (المتآكلة) مثل أعمدة نقل الحركة وأعمدة المرفق (الكرنكات) والعجلات والأسطح المستوية والزلاقات وما شابهها . ويمكن التمرس على إجراء هذه الكسوة على أسطح مستوية بترسيب خطوط لحام متجاورة ومتراكبة بعض الشيء باستخدام الحركة الحياكية ثم ينظف السطح تماما من الخبث والأكاسيد ثم يرسم الطبقة الثانية وتنظف وهكذا تمارس الطبقات التالية حتى نصل إلى شخانة مناسبة تكفي لتعويض الجزء البالي بعد التسوية اللاحقة بالتشغيل (القشط والتجليخ) .

ويمكن ممارسة هذه الكسوة مرة أخرى على أعمدة أسطوانية على المخروطية بتثبيت ماسك إلكتروود اللحام في موقع برج القلم وممارسة تغذية طولية بالعربة أثناء دوران الشغلة وممارسة تغذية نصف قطرياً لتعويض المنصهر من الإلكتروود بالرأسمة الكبرى بعد ضبط هذا المعدل بحيث يظل طول القوس ثابتاً .

الوصلات الأفقية المتراكبة

يمكن التمرس على وصلات أفقية متراكبة كما في شكل (1 - 174)

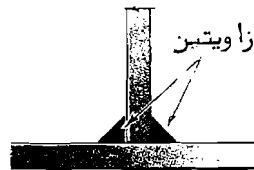
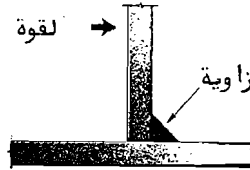


شكل (1 - 174) .

ويتم ذلك بلحام زوايا التلاقى بممارسة الحركة الحياكية للإلكتريود الذى يميل بزوايا على الشغلة كما فى الشكل ويمكن أن يتم ذلك فى مسار واحد أو عدة مسارات مع ملاحظة ضرورة إتمام التنظيف بعد نهاية كل مسار .

لحام الزوايا (الأركان) :

يتم ذلك إما بمسار واحد أو بمسارات متعددة وإما من جهة واحدة أو من جهتين كما فى شك (1 - 175) أو من الخارج .



شكل (1-175)

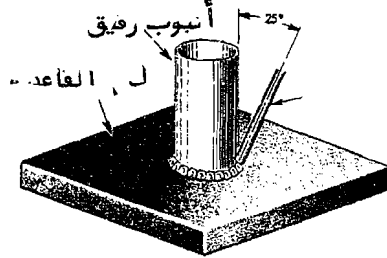
الوصلات التناكبية :

يتم لحام الوصلات التناكبية دون ترك خلوص بينها إذا كانت رقيقة لا يتجاوز سمكها ثلاثة مليمترات . أما إذا زاد السمك عن ذلك فإن الوصول إلى قاع (جذر) الوصلة يحتم ترك خلوص بين طرفي الوصلة أو حتى تجهيز طرفي الوصلة بشكل حرف (V) أو X كما في الجداول التالية (1 - 178 - 177) . أو لحام الزاوية كما في جدول (1 - 178) .

لحام المسارات الدائرية :

تقتضى بعض الظروف لحام مواسير وأعمدة مستديرة في قواعد مستوية حينئذ يجب إعداد العمود الأسطوانى بشطب طرفه (شطفه) من الجانبين ليتيح الوصول باللحام بعمق متغلغل إلى مركز العمود ثم تملأ الفجوة من الطرفين بمسار أولى من جهة يتلوه مسار أولى من الجهة الثانية، ثم مسار ثان فى الجهة الأولى بعد التنظيف، ثم مسار ثان للجهة الثانية بعد التنظيف وهكذا .

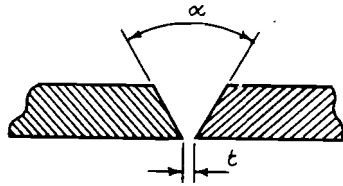
أما إذا كان الجزء المطلوب لحامه فى القاعدة هو ماسورة فيكتفى بشطب طرف الماسورة شطبا مخروطيا على مدى سمكها ثم عمل بُنْط لحام لتثبيت الماسورة مع القاعدة كما فى حالة لحام الزوايا شكل (1 - 176)



شكل (1 - 176)

جداول اللحام التناكبي بالقوس الكهربائي القياسية (اللحام اليدوي

طبقا للمواصفات الألمانية 1913

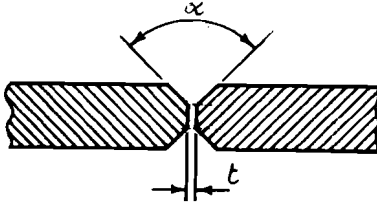


| عدد أسياخ اللحام المستهلكة للقطر الطولي | | عدد مسارات اللحام | ابعاد الالكترود المستعمل مم mm | الثغرة t mm | سمك المعدن mm |
|---|---------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|------------------|
| $\alpha = 60^\circ$ | $\alpha = 80^\circ$ | | | | |
| 4 | 7 | 1 | 2 x 250 | - | 2 |
| 4 | 4,5 | 1 | 3,25 x 350 | 1 | 3 |
| 5 | 5,5 | 1 | 3,25 x 350 | 1,5 | 4 |
| 6,5 | 7 | 2 | 3,25 x 350 | 2 | 5 |
| 11 | 12 | 2 | 3,25 x 350 | 2 | 6 |
| 4 | 4 | 3 | 3,25 x 350 | 2 | 8 |
| 7 | 8 | | 4 x 450 | | |
| 4 | 4 | 3 | 3,25 x 350 | 2 | 10 |
| 12 | 10 | | 4 x 450 | | |
| 5 | 5 | 3 | 3,25 x 350 | 2 | 12 |
| 6 | 6 | | 4 x 450 | | |
| 8 | 8 | | 5 x 450 | | |
| 5 | 5 | 3 | 3,25 x 350 | 2 | 14 |
| 6 | 6 | | 4 x 450 | | |
| 12 | 10 | | 5 x 450 | | |
| 7 | 7 | 4 | 3,25 x 350 | 2 | 16 |
| 7 | 7 | | 4 x 450 | | |
| 16 | 12 | | 5 x 450 | | |
| 7 | 7 | 4 | 3,25 x 350 | 2 | 18 |
| 8 | 8 | | 4 x 450 | | |
| 22 | 27 | | 5 x 450 | | |
| 7 | 7 | 6 | 3,25 x 350 | 2 | 20 |
| 8 | 8 | | 4 x 450 | | |
| 31 | 36 | | 5 x 450 | | |

جدول اللحام التناكبي بالقوس الكهربائي القياسية (اللحام اليدوي)

DIN 1913

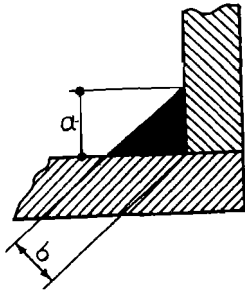
طبقا للمواصفات الألمانية



| عدد الكترودات اللحام المستهلكة للقطر الطولي | | عدد مسارات اللحام | أبعاد الكترود المستعمل mm | الشفرة t mm | سمك المعدن mm |
|---|---------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|------------------|
| $\alpha = 60^\circ$ | $\alpha = 80^\circ$ | | | | |
| 3,5 4,5 | 4,5 6 | 4 | 4 x 450 5 x 450 | 2 | 12 |
| 3,5 6,2 | 4,5 9,3 | 4 | 4 x 450 5 x 450 | 2 | 14 |
| 3,5 10,5 | 4,5 13,- | 4 | 4 x 450 5 x 450 | 3 | 16 |
| 3,5 14 | 4,5 17,6 | 4 | 4 x 450 5 x 450 | 3 | 18 |
| 3,5 18,5 | 4,5 23,- | 4 | 4 x 450 5 x 450 | 3 | 20 |
| 3,5 22,5 | 4,5 28,5 | 6 | 4 x 450 5 x 450 | 3 | 22 |
| 3,5 27 | 4,5 34,5 | 6 | 4 x 450 5 x 450 | 3 | 24 |
| 3,5 21,2 | 4,5 26,- | 6 | 4 x 450 6 x 450 | 3 | 25 |
| 3,5 22,2 | 4,5 28,- | 6 | 4 x 450 6 x 450 | 3 | 26 |
| 3,5 25,5 | 4,5 32,- | 6 | 4 x 450 6 x 450 | 4 | 28 |
| 3,5 28,5 | 4,5 36,5 | 6 | 4 x 450 6 x 450 | 4 | 30 |

جدول اللحام للزاوية بالقوس الكهربائي القياسية (اللحام اليدوي)

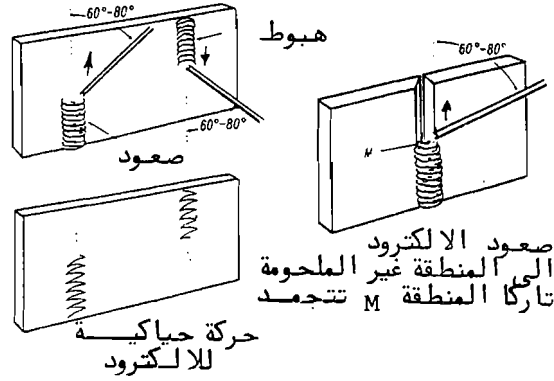
طبقا للمواصفات الألمانية 1913



| سمك المعدن mm | طول القدم α mm | أبعاد الأقطار المستعمل mm | عدد مسارات اللحام | عدد أسياخ اللحام المستهلكة للترطولي |
|------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| 2 | 2 | 250 x 2 | 1 | 7 |
| 3 | 3,1 | 2,5 x 2,5 | 1 | 6 |
| 4 | 4,2 | 3,25 x 350 | 1 | 4 |
| 5 | 5,2 | 3,25 x 350 | 1 | 6 |
| 6 | 6,3 | 4 x 450 | 1 | 5 |
| 7 | 7,5 | 4 x 450 | 1 | 6 |
| 8 | 8,5 | 4 x 450 | 1 | 8 |
| 10 | 10,5 | 3,25 x 350 4 x 450 | 2 | 6 9,5 |
| 12 | 12,7 | 4 x 450 5 x 450 | 3 | 6 8 |
| 14 | 15 | 4 x 450 5 x 450 | 3 | 6 12,5 |
| 18 | 19 | 4 x 450 5 x 450 | 4 | 6 22,5 |
| 20 | 21 | 4 x 450 5 x 450 | 4 | 6 30 |
| 25 | 25,5 | 4 x 450 5 x 450 | 6 | 6 47,5 |

اللحام الأفقى على مستوى رأسى :

ويُستخدَمُ في غالب الأحيان في لحام وصلات حوائط المنشآت مثل الخزانات والجمالونات ، وفي هذه الحالة يجب استخدام قوس قصير في طوله عن المستخدم في اللحام الأفقى (الأرضى) . إذ أن القوس القصير يقلل الميل إلى انسياب بركة المنصهر بالجاذبية إلى أسفل دون أن يتاح لها فرصة ملء فجوة اللحام والتغلغل فيها . شكل (1 - 180) بجانب أنها تترك فجوة طولية في الجزء



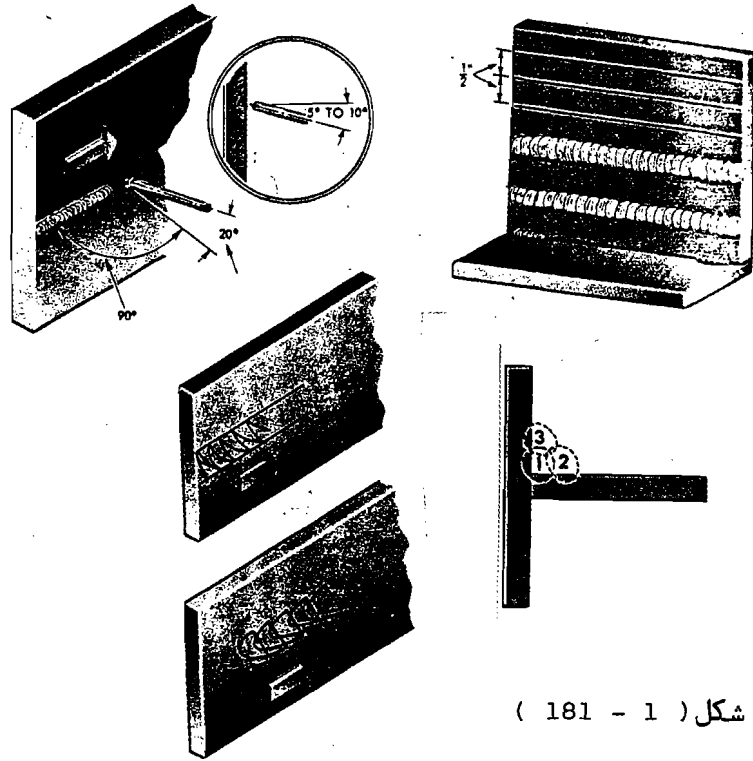
شكل (1 - 180)

العلوى من د رزة اللحام كل ذلك يؤدي في النهاية إلى ضعف الوصلة .

ويمسك الإلكترود بحيث يميل بزاوية تتراوح بين (5° , 10°) إلى أسفل المستوى العمودي على مستوى الشغلة (أى يشير الإلكترود إلى أعلى) . أما في اتجاه التحرك فيميل الإلكترود بنحو (20°) إلى الأمام في اتجاه حركة التقدم وذلك على الخط العمودي على خط د رزة اللحام . وتكون حركة الإلكترود الحياكية ضيقة .

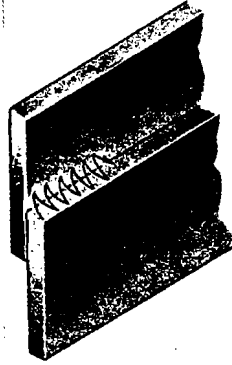
وللتمرس على هذا النوع من اللحامات يستخدم لوح صلب لـ سد ن
يسمك ستة مليمترا وطوله عشرين سنتيمترا وعرض خمسة عشر سنتيمترا ويثبت
رأسيا بلحامه بالتبنيط مع جزء قاعدة من نفس السمك بعرض عشرة سنتيمترات
ثم ترسم عدة خطوط أفقية متوازية على اللوح الرأسى متباعدة بمقدار خمسة
عشر مليمترا .

اضبط ماكينة اللحام على التيار المناسب ثم أجر عمليات لحام بحركة
حياكية ضيقة من اليسار إلى اليمين واعكس الاتجاه في الخط الذى يليه
وهكذا حتى يتم اللحام على كل الخطوط محاولا أن تحصل على لحام
سليم منتظم ومتماثل دون تكون فجوات نتيجة لتسيل البركة المنصهرة
وفى النهاية أكمل الزاوية مع القاعدة . شكل (1 - 181)



شكل (1 - 181)

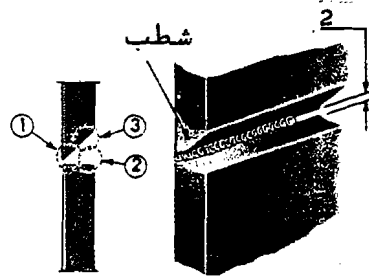
يمكن التمرس أيضا على لحام أفقى المستوى الرأسى فى وصلات متراكبة
(شكل 1 - 182)



شكل (1 - 182)

وذلك باستخدام الحركة الحياكية الضيقة .

وبعد ذلك يمكن التمرس على لحام أفقى فى وصلات رأسية سميكة
باستخدام مسارات متعددة مثل الزاوية الأفقية فى وصله كالمبينة فى
شكل (2 - 182)



شكل (2 - 182)

ابدأ أولاً بتثبيت الوصلة من طرفيها للحفاظ على الشكل والفجوة منتظمين على طول الوصلة . ثم ابدأ بالمسار الأول في اتجاه قـ (جذر) الوصلة دون حركة حياكية ثم انزع الخبث ونظف سطح اللحام ثم الحم المسار الثاني بحركة حياكية ضيقة متغلغلا مع المسار الأول ومع معدن الوصلة ثم نظف الحم المسار الثالث الذي يجب أن يتغلغل مع المسارين السابقين ومع معدن الوصلة في آن واحد وهذا أمر ضروري وإلا نشأت وصلة ضعيفة .

أما اللحام الأفقى للوصلات الرأسية السمكة المشطوبة كالمبينة ففى شكل (2 - 182) . فيجب أولاً تثبيتها ثم البدء بالجذر دون حركة حياكية ونزع الخبث ثم لحام المسار الثاني ثم الثالث كما سبق إيضاحه فى اللحام المشابه للزاوية ويمكن فى حالة الوصلات السمكة التى تحتاج إلى مسارات تزيد عن الثلاثة تكرار نفس العمل مع ملاحظة زيادة الحركة الحياكية كلما اقتربنا من المسارات الأخيرة .

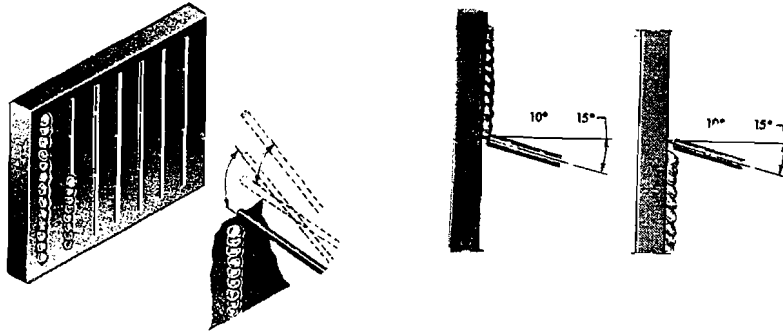
وعادة ما ينهى اللحام بمسار إنهائى هدفه الحصول على درزة لحام منتظمة وناعمة وذلك باستخدام حركة حياكية واسعة تعطى عرض المسارات السطحية الأخيرة .

اللحام الرأسى على مستوى رأسى :

وهو يستخدم فى كثير من المنشآت الحديدية والجسور والخزانات وخطوط الأنابيب والسفن وما شابهها . ويتم هذا اللحام إما صعوداً أو هبوطاً .

ويستخدم اللحام هبوطاً فى غالب الأحيان فى الوصلات ذات السمك الرقيق لأن التغلغل فى هذه الحالة يكون صغيراً هذا بجانب أن اللحام هبوطاً يكون سريعاً وهو أمر مفيد فى الإنتاج الغزير . أما فى القطاعات السمكة فلا بد من استخدام اللحام الرأسى الصاعد لأنه يمكن من التغلغل إلى كل السمك بجانب أنه يمكن من تكوين طبقات ارتكاز للمسارات اللاحقة .

ويمسك بالإلكترود فى كلا الحالتين (صعوداً أو هبوطاً)
كما فى الشكل (1 - 184)



شكل (1 - 184)

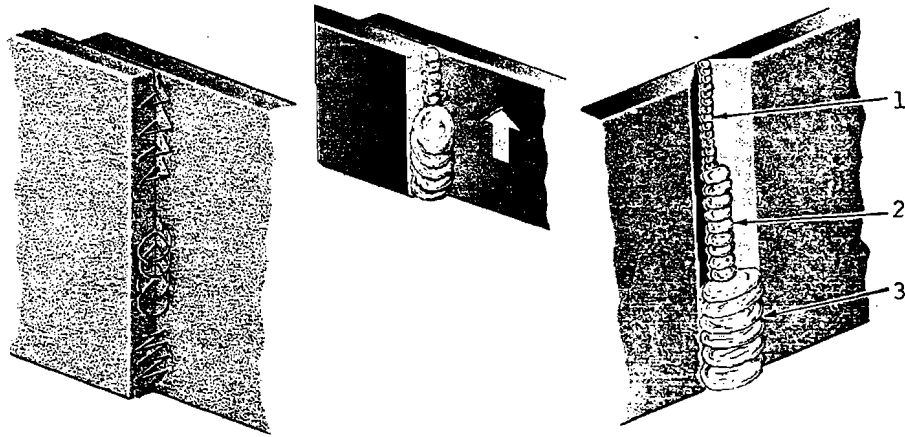
يمكن التمرس على اللحام الرأسى الهابط أولاً على ألواح رقيقة فى حدود ثخانة ثلاثة مليمترا دون ممارسة حركة حياكية أمـ إذا اضطرت لهذه الحركة لتوسيع النطاق الحرارى فلتكن حركة على شكل هلال . أما فى اللحام الصاعد فابدأ بوضع الإلكترود عمودياً على الوصلة ثم بعد ذلك بخفض المؤخرة بالزاوية الموضحة فى الشكل السابق .

ويمكن التمرس على هذه الأوضاع بمحاكاة اللحامات السابقة باستخدام لوح رأسى ورسم خطوط رأسية متوازية ومتباعدة بقدر خمسة عشر مليمترا وابدأ من أسفل (فى اللحام الصاعد) بإشعال القوس فى القاع وبمجرد ترسيب قدر كاف من المنصهر عند القاع ابدأ فى حركة حياكية رأسية وليست حياكية عرضية أى تكون فى اتجاه خط الـرز دون أن تقطع القوس بل اسحبه معك فى هذه الحركة فى المناطق التى لم تلحم بعد ، وفائدة هذه الحركة إتاحة الفرصة للمعدن المترسب للتجمد أثناء ابتعاد القوس عنه .

استمر بهذا الأسلوب حتى تنتهي من خط اللحام كله ويمكن العودة من أعلى إلى أسفل هبوطاً وهكذا حتى تنتهي كل الخطوط المرسومة .

وفي حالة اللحام الرأسى للزوايا يمكن استخدام الحركة الحياكية بعرض يعادل تقريباً ضعف قطر الإلكترود .

أما الوصلات السمكية التى تتطلب عدة مسارات للحام فهى عادة مشطوبة الأطراف ويجب تبنيطها أولاً لتثبت فى وضعها مثل لحام التراكب ولحام التناكب شكل (1 - 185)



(1 - 185)

ويبدأ اللحام بمسار يتغلغل إلى الجذر صعوداً مع أرجحة الإلكترود رأسياً قليلاً كما سبق الإشارة إليه وبعد التنظيف تمارس الطبقة الثانية صعوداً .

ويجب أن تتغلغل الطبقة المنصهرة مع الطبقة الأولى ومعدن الوصلة مع استخدام حركة حياكية خفيفة تتزايد بعد ذلك بازدياد عرض المسار .

لحام السقف :

يُعتَبَرُ هذا اللحام من أصعب اللحامات وذلك بسبب محاولة القائم باللحام منع المعدن المترسب من السقوط بالجاذبية الأرضية ولذلك يجب التمرس كثيرا على هذه العملية والتمكن من ممارستها حتى تصل إلى مستوى اللحامات الأخرى وهو أمر يصير بالتمرين والمثابرة .

ولاجراء هذا التمرين يمكن استخدام مثبت خاص يمسك بلوح معدني في وضع أفقي مرتفع شكل (1 - 187) . ويمكن تسطير خطوط متوازية متباعدة بقدر خمسة عشر مليمترا عن بعضها البعض لإجراء اللحام على طولها .

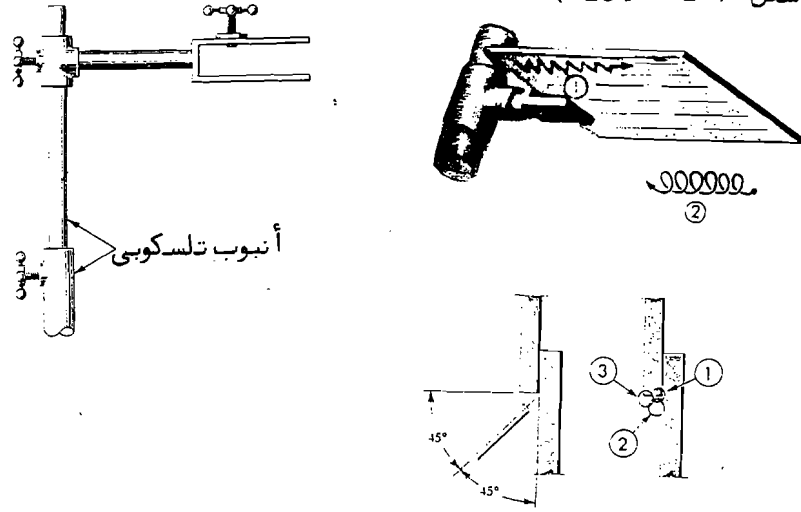
ويبدأ بتوجيه الإلكترود عموديا على سطح اللوح ثم تنحرف مؤخره الإلكترود إلى الأمام (في اتجاه التقدم) بزاوية تتراوح بين عشرة وخمسة عشر درجة .

امسك المقبض بالقفاز بحيث يكون وجه الكف إلى أسفل حتى لا تتجمع أى قطرات منصهرة في الكف . وليكن الوقوف بعيدا قليلا عن أسفل موقع اللحام حتى يمكن تجنب القطرات المتساقطة من اللحام والشرر المنطلق من القوس ولاقلال حمل كبل اللحام . يمكن حمله على الكتف بدلا من تعليقه على الذراع إذا أجرى اللحام جلوسا .

وللتمرس على ذلك يختار لوح كالمسابق اختياره في اللحامات السابقة ويمسك بواسطة المثبت بحيث يسهل الوصول إليه من أسفل .

تُجرى خطوط إلى الأمام وإلى الخلف مع ممارسة حركة تأرجحية سريعة نوعا مثل التي مورست في اللحام الرأسي وذلك لتمكين المنصهر المتجمع في الشغلة من التجمد خلال فترة ابتعاد القوس أثناء التأرجح . مع الاحتفاظ بالقوس قصيرا قدر المستطاع .

كرّر العمل السابق في لحام سقف وصلات متراكبة مثل
شكل (1 - 184)




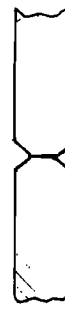
شكل (1 - 187)

عند تعدد المسارات لا تنسى التنظيف التام بين الطبقات .

القيم الارشادية لوصلات اللحام بالقوس الكهربائي (لحام يدوي) :

توضح الجداول (1-177, 1-178, 1-179) القيم
الإرشادية لعمليات اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي كما يوضح
الجدول (1 - 188) شدة التيار وقطر الإلكترود وسرعة التقدم
ومعدل استهلاك الإلكترودات لوصلات اللحام اليدوي بالقوس
الكهربائي العنكبة .

جدول (1 - 188)

| معدل استهلاك الإلكتروليتات كجم / متر | سرعة التقدم سم / دقيقة | شدة التيار A | قطر الإلكترود مم | شكل الوصلة | سمك المشغولة مم |
|--|---------------------------|-----------------|------------------------|---|--------------------|
| 0,5 - 0,6 | 40 - 47 | 350 - 400 | 3, 25 |  | 5 - 8 |
| 0,6 - 0,7 | 35 - 40 | 450 - 500 | 4 | | 8 - 10 |
| 0,9 - 1,1 | 32 - 37 | 550 - 600 | 5 | | 10 - 12 |
| 1,0 - 1,2 | 30 - 35 | 600 - 650 | 5 | | 12 - 16 |
| 1,2 - 1,4 | 35 - 40 | 700 - 750 | 6 |  | 18 - 20 |
| 2,1 - 2,3 | 25 - 30 | 700 - 750 | 6 | | 20 - 22 |

* يتم اللحام بخط من كل جهة مع ثغرة في الوصلة أو تشكيل أخذ ود ين في الجهتين .

* يتم اللحام بخط واحد من أسفل وخطين من أعلى وينصح بالبداية بالخط السفلي لتجنب تشويه الوصلة .

لحام حديد الزهر بالقوس الكهربائي

لا تجرى عمليات لحام حديد الزهر بأنواعه بقصد تجميع أجزاء بسيطة لتكوين جزء مركب كما هو الحال في لحام المعادن الأخرى بل يقتصر لحام حديد الزهر على إصلاحات الأجزاء المصنوعة منه وذلك بسبب صعوبة إجراء لحامه بسبب الإجهادات الحرارية التي يتعرض لها أثناء اللحام والتي تتخلف عنه .

وهذه الإصلاحات تقتصر على كسور أو شروخ أو ملء فراغات أو فجوات ناشئة عن عيوب في السبائك أو إضافة طبقة لحام عوضاً عن طبقة تلفت بالبري أو التآكل .

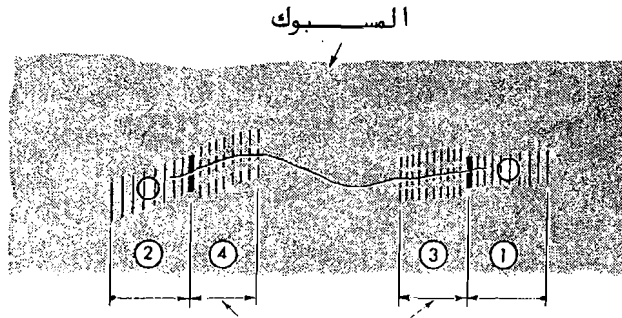
وتنشأ صعوبة لحام حديد الزهر من رداءة خواصه الميكانيكية مقارنة بالمعادن والسبائك الأخرى فهو قصيف (هش) غير لدن موصل رديء للحرارة . فالحرارة لا تتوزع خلالاً بسهولة بل تتجمع وتولد إجهادات حرارية بسبب تمدد المنطقة المتجمعة بها الحرارة عن الأجزاء الأخرى الأمر الذي قد يؤدي إلى التشرخ أو التصدع أو الكسر أو تجمع الإجهادات .

وتختلف خواص حديد الزهر باختلاف نوعه فحديد الزهر الأبيض أكثرها قسافة ومن ثم فهو صعب في اللحام يليه الحديد الزهر الرمادي، يليه الحديد الزهر اللدن بنوعيه الفريتي والبيرليتي، ثم أخيراً حديد الزهر متكور الجرافيت وهو أفضلها من ناحية قابلية اللحام ومقاومته للتصدع والإجهادات الحرارية المتولدة أثناء اللحام .

ولما كانت معظم عمليات لحام حديد الزهر تقتصر على لحام الشروخ أو الكسور فإنه يجب في هذه الحالة عدم البدء مباشرة بلحام هذه الشروخ وإلا فإن هذه الشروخ ستتطور عند أول

محاولة للتسخين بسبب الإجهادات الحرارية وبسبب تأثير الحز (نهاية الشرخ) لذلك يجب مقاومة تطور هذه الشروخ بعمل ثقب بقطر ثلاثة مليمترات على بعد يبلغ نحو عشرة مليمترات عن أطراف الشروخ وبذلك يمكن الحد من تطور الشرخ عند الثقب وذلك بسبب خفض تركيز الإجهادات عند نهاية الشرخ بتأثير الحز (Notch effect) شكل (1 - 190) ، ثم يُجَلَّحُ السطح عند منطقة اللحام لإزالة الشوائب السطحية التي التصقت بالسطح عند السباكة في القوالب الرملية لأنها إن لم تُزال ستختلط بالبركة المنصهرة في اللحام وتضعف الوصلة . ثم تشكل مجرى على شكل حرف (V) على طرف الشرخ أو طول خط اللحام المطلوب ليسهل التغلغل باللحام للجذر وتبلغ زاوية الشطب ستون درجة .

ويمكن أن يتم التشكيل بالتجليخ أو بالأجنة ذات الطرف الماسي (الطرق يكون خفيفا حتى لا يتطور الشرخ) .



من 25 إلى 75 ملليمتر

شكل (1 - 190)

إذا تعذر التعرف على موقع الشرخ يدًهن السطح بالكبروسين الملون ثم يمسح تماما بعد برهة (عدة دقائق) ثم يُحَك السطح بالطباشير كله فيبدأ الشرخ في الظهور ويكون موقعه عند الطباشير المبلل بالكبروسين الذي دخل الشرخ بالخاصة الشعرية ولم يمكن مسحه .

لحام حديد الزهر على الساخن :

يجب أن تتخذ الاحتياطات للإقلال من الإجهادات الحرارية المتوقعة من عمليات اللحام بسبب تركيز الحرارة عند موقع اللحام فيفضل تسخين الجزء كله إلى درجة حرارة متوسطة تتراوح بين 600°C ، 650°C حسب سُمك الخانة وشكل الجزء ولا يجوز تجاوز هذه الحدود لأن درجة حرارة تحول حديد الزهر الحرجة تقع عند 780°C وهو الحد التي يجب عدم الاقتراب منه .

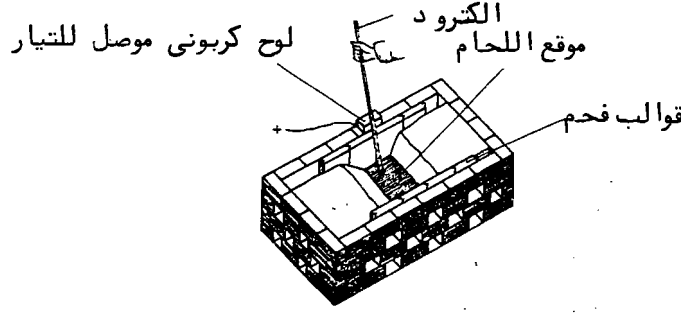
ويمكن التوصل إلى هذه الدرجة في أفران خاصة بالفولاذ أو بالمقاومة الكهربائية أو بالفحم النباتي الذي يجب في هذه الحالة أن يحيط بالشغلة من كل جانب ويغطي الفرن من قمته بلوح أسبستوس أو صاج ولا يكشف إلا عند موقع الشرح المطلوب لحامه .

وفي الأجزاء الكبيرة يصنع الفرن مبطناً بالطوب الحراري ويُكسَى بالطوب العادي من خارجه . ويجب أن يُراعَى في تصميم الأفران بصفة عامة أن يتم تسخين الشغلة من كل أرجائها بانتظام وبمعدل تسخين لا يزيد عن خمسة عشر درجة مئوية في الساعة كما يجب الحرص على أن تكون الشغلة مثبتة بطريقة مستقرة في موقعها في الفرن حتى لا تتعرض للتقلقل وتغيير الموقع أثناء اللحام .

وتستخدم الكرومات بقطر يتراوح بين خمسة ، عشرين مليمتراً بنسبة سليكون تزيد عن نسبة السليكون في الشغلة بمقدار $0,7\%$ (ليساعد على انفصال الجرافيت من حديد الزهر للمساعدة على تطريته) .

ويستخدم قوس تيار مستمر يأخذ الإلكترود فيها القطب الموجب (للمحافظة على برودة الشغلة نسبياً) ويختار تيار تصل شدته إلى نحو (1200 A) وبجهد 50 V مع استخدام مقبض إلكترود خاص (بنسبة) لهذا الغرض أو يمكن سك طرف الإلكترود من طرفه وغمر طرفه الآخر في بركة المنصهر ويتم توصيل التيار عن

طريق قضبان من الجرافيت أو النحاس على حافة الفرن كما فى شكل (1 - 189) تعزله بطبيعة الحال عن الشغلة .



شكل (1 - 192)

وفى هذه الحالة تظل بركة المنصهر منصهرة على طول خـط اللحام الذى يجب أن يحدد بقوالب من الفحم حول موقع اللحام مكونا حوضا يحتوى المنصهر .

ويمكن من جانب آخر استخدام لهب الأكسى أستلين باستخدام البوارى المؤمنة ضد الفرقعة بعزل مقدتها حراريا بصورة جيدة ويستخدم اللهب المتعادل كيميائيا .

وبعد انتهاء اللحام يغطى موقع اللحام برماد الفحم أو الرمل الساخن لتأخير التبريد قدر المستطاع . ويمكن إجراء معاملـة حرارية لاحقة للشغلة إذا كانت كبيرة أو معقدة الشكل .

اللحام بالتسخين الموضعى :

يمكن إجراء لحام حديد الزهر بالتسخين الموضعى عند موقع اللحام وذلك فى المشغولات الكبيرة التى يصعب تسخينها كلها .

ويشترط في هذه الحالة أن يتمكن هذا الجزء من التمدد والانكماش بحرية عند موقع اللحام . ويتم التسخين ببطء بواسطة لهب بوري الأكسي أستلين حتى درجة حرارة (600°C) مع الحرص على عدم تعرض الموقع الساخن لتيار الهواء البارد أثناء عملية اللحام كما يتم التبريد بعد انتهاء اللحام بمنتهى البطء وهو أمر يمكن تحقيقه بمساعدة بوري اللحام .

لحام حديد الزهر دون تسخين أولى (على البارد) :

تستخدم في هذه الطريقة إلكترودات خاصة يُطَلَقُ عليها تجارياً إلكترودات باردة مثل الأنواع المعروفة باسم يوتكتيك ويمكن الاحتفاظ بالشغلة باردة بممارسة عملية اللحام بصورة متقطعة لأطوال تتراوح بين 50 ، 70 mm وتترك لتبرد ثم يكمل الخط على مراحل متقطعة .

ويجب قبل البدء في عملية اللحام ضبط المكنة لشدة التيار المناسبة التي يوصى بها مُصنِّعُ الإلكترود والتي تقل عادة عن الشدة المستخدمة في لحام الصلب .

وتختار إلكترودات ذات قطر صغير لإمكان المحافظة على الشغلة في درجة حرارة منخفضة قدر الإمكان (لا يتجاوز قطر الإلكترود ثلاثة مليمترات) يمال الإلكترود بمقدار خمس إلى عشر درجات في اتجاه التقدم في اللحام ويكون القوس طويلاً نسبياً (مقارنة بطول قوس لحام الصلب اللدن) .

وإذا احتاج اللحام إلى عدة طبقات متراكمة، فيتبع أسلوب الحركة النسيجية أثناء التقدم بعد انتهاء خط اللحام الأول .

ويبدأ خط اللحام الأول في حالة لحام الشروخ قبل موقع الثقب بنحو عشرين مليمتراً، ثم يستمر اللحام عبر الثقب الطرفي الأول والشرح والثقب الطرفي الثاني، ثم بعد ذلك بنحو عشرين مليمتراً أخيراً

بصورة متقطعة كما سبق إيضاحه ويستمر ذلك الأسلوب في الخط الثاني للطبقة التالية إذا احتاج الأمر مع الحركة النسيجية على أن تترك الشغلة لتبرد بين الخطين حفاظا على الشغلة في درجة حرارة منخفضة قدر الامكان .

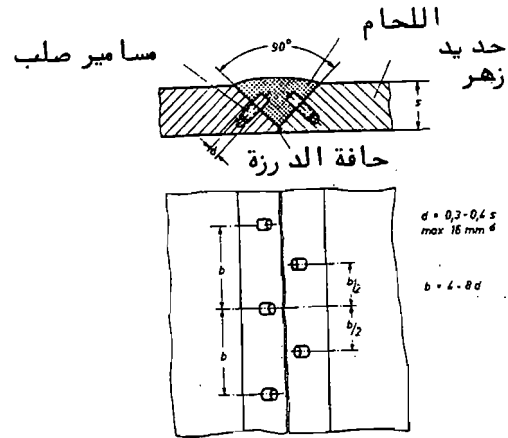
وفي كل الأحوال يجب الطرق بمطرقة برفق على د رزة اللحام أثناء التبريد إذ أن ذلك يساعد على تماسك اللحام والإقلال من الإجهادات الحرارية المتخلفة عن التبريد الموضعي .

وفي حالات الكسور المتعددة أو الأجزاء التي يتخلف عنها قطع صغيرة فتجمع الأجزاء بعضها مع بعض ثم تثبت بالتبنيط باللحام بعد شطب (شطف) حواف خط اللحام .

وإذا تعذر تجميع الأجزاء المكسورة مع الجزء المكسور فتصنع أجزاء من الصلب اللدن يمكن تجميعها عوضا عن الأجزاء الناقصة ثم تجمع وتبنيط ثم يتم اللحام كالمعتاد كما سبق شرحه .

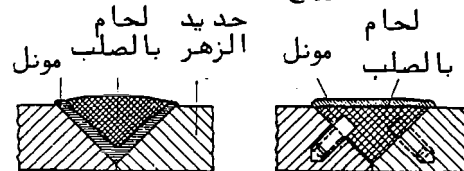
وفي حالات لحام القطاعات السمكة التي تزيد عن ثلاثين مليمترا والتي تتعرض لإجهادات مرتفعة يمكن تقوية وتدعيم اللحام باستخدام جواويط من الصلب بقطر يتراوح بين ستة وتسعة مليمترات تربط في ثقب ملولية في سطح الشغلة التي يجب أن يشطب بشكل حرف (V) وذلك على مسافات تتراوح بين ثلاثة إلى ستة أمثال قطر الجاويط شكل (2 , 1 - 195) بحيث يظهر من الجاويط طول يعادل قطره ثم تملأ الفجوة باللحام بالطريقة السابق شرحها . ثم تعالج في النهاية بالطرق الخفيف للإقلال من الإجهادات الحرارية المتخلفة ..

ويستخدم في لحام حديد الزهر بصفة عامة إلكترودات خاصة إما أن تكون قابلة للتشغيل تحتوى على قلب من سبيكة النحاس مع النيكل أو من النيكل النقي وتعطى معدنا مرسبا لدا يمكن تشغيله وتصلح هذه الإلكترودات لإصلاح كل المسبوكات المكسورة أو تصحيح أخطاء الأسطح المشغلة لحديد الزهر أو للصلب ويطلق المصنعون على



شكل (1 - 195)

هذه الإلكترونيات أسماء تجارية خاصة مثل سوفت ولدت (Soft weld) أو سوفت كاست (Soft cast) وبيوتكتيك Eutectic ، ولما أن تكون هذه الإلكترونيات صلبة غير قابلة التشغيل تصنع بقلب من الصلب الطرى مغطى بكسوة خاصة تتيح ترسيب معدن لحام صلب يصعب تشغيله ولذلك فهي تستخدم في لحام الأجزاء التي لا تحتاج إلى تشغيل بعد اللحام وتتميز بأنها تعطي لحاماً محكماً ضد أي تسرب مشعل أجسام المحركات وقميص التبريد وكباسات الهواء والمضخات ويطلق على هذه الإلكترونيات تجارياً أسماء عديدة منها فيروولدت Ferroweld ، استرونج كاست Strong cast .

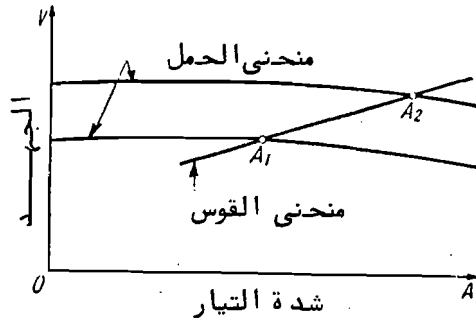


شكل (2 - 195)

اللحام بالقوس الكهربائي وغاز ثاني أكسيد الكربون (غاز واق ٢) :

لقد بدأت المحاولات الأولى لاستخدام غاز ثاني أكسيد الكربون كغاز واق في عمليات اللحام في العشرينات من هذا القرن إلا أن هذه المحاولات لم تصادف نجاحاً يذكر بسبب رداءة المظهر والخواص الميكانيكية للوصلات الملحومة بهذه الطريقة ، ويرجع ذلك الاخفاق في المقام الأول في الاختيار السليم لأسلاك اللحام التي تناسب في تركيبها ظروف اللحام بغاز ثاني أكسيد الكربون ومن ثم عدم السيطرة على التفاعلات الميتالوجية في بركة اللحام . وقد أعيدت الكرة في محاولة ثانية جادة في الخمسينات من هذا القرن حيث أمكن التحكم في متغيرات هذه الطريقة مثل نوعية أسلاك اللحام ومصادر التيار الكهربائي والأجهزة المناسبة .

ويطلق على هذا اللحام أيضاً اللحام نصف الأتوماتي Semiautomatic Welding . وفي هذه الطريقة يستخدم سلك اللحام (الحشو) في صورة سلك ملفوف على بكرة حيث يسحب السلك بتجهيزة خاصة يمكن بولسبتها التحكم في معدل تغذية سلك الحشو بطريقة منتظمة وآلية ويمر هذا السلك في أنبوب مرن (يمكن ثنيه) يمر به غاز الوقاية ثاني أكسيد الكربون وينتهي معاً بفوهة مسدس اللحام (البورى) المتصل بتيار اللحام الذى يبلغ نحو 100 وقد يصل إلى 440 A/mm^2 (حد أقصى دون أن يترتب على ذلك ارتفاع مفرط في درجة الحرارة) . وتتميز هذه الطريقة بازدياد معدل صهر سلك الحشو بما يزيد على ضعف نظيره في طريقة اللحام بالقوس الكهربائي المكشوف التقليدي . ولما كانت تغذية السلك بصورة منتظمة فإن طول القوس يمكن التحكم فيه مع بقاءه ثابتاً وقصيراً وهذه الميزة هي من أهم الميزات التي تتفوق بها طريقة اللحام بغاز ثاني أكسيد الكربون عن القوس التقليدي اليدوي ويتراوح قطر السلك عادة بين 0,8 , 2,4 mm مع استخدام تيار كهربائي مستمر ذي جهد منخفض نسبياً ويجب أن تكون وحدة تغذية التيار ذات خط تحميل ثابت (علاقة الحمل - شدة



شكل (197-1)

التيار أفقية تقريبا) شكل (197 - 1) وعادة ما تكون وحدة تغذية التيار عبارة عن محول للتيار الكهربائي ومعه موحد للتيار لتحويله إلى تيار مستمر وهذا الموحد يجب أن يتحمل شدة تيار لا تقل عن 270 A أما إذا زادت الحاجة إلى تيار مستمر يفوق هذه الحدود كما هو الحال عند استخدام أسلاك بقطر 2 mm أو يزيد فإن مولدات التيار المستمر تكون هي المصدر التيار المفضلة وقد تستخدم المحولات الدوارة المسماة المحرك - المولد

Motor - Generator

حيث يدور التغير محركا كهربائيا يدور بدورته وعلى محوره مولد للتيار المستمر يستطيع أن يغذي شدة تيار تصل إلى 450 A .

دور الغازات الخاملة والمختزلة والمؤكسدة في اللحام :

تشمل الغازات الخاملة غازات الهليوم والنيون والأرجون والكربتون والاكسينون وهي تستخدم في أغراض ومجالات مختلفة في الصناعة مثل استخدام الأرجون في لحام الألومنيوم وسبائك وكذلك الصلب المقاوم للصدأ والسبائك المقاومة لفعل درجات الحرارة المرتفعة . ومن المعروف أن هذه الغازات تكتسب صفة خمولها من كون ذراتها مكتملة الإلكترونات في أغلفتها الخارجية ومن ثم فليس لها ميل لتبادل الإلكترونات بينها بالارتباط مع ذرات أخرى أو بالتفاعلات

الكيميائي. ولذا لك فهي تلعب دوراً هاماً في المحافظة على عدم تأكسد أطراف الوصلات أثناء اللحام إلا أن تكاليف إنتاجها الباهظة تحد من انتشار استخدامها على نطاق واسع في عمليات اللحام . ولهذا السبب يلجأ في كثير من عمليات اللحام إلى استخدام خليط من غازات فعالة كيميائياً أي لها قوة اختزال أو قوة تأكسد أحياناً .

وعند ذكر الغازات المختزلة نجد أن أهمها أول أكسيد الكربون (CO) والهيدروجين (H₂) وغاز الميثان (CH₄) والبروبان (C₃H₈) الخ وخليط منها مثل استخدام خليط من غازي أول أكسيد الكربون والهيدروجين (بالنسب الجزئية) كوسيط مختزل في اللحام باللهب .

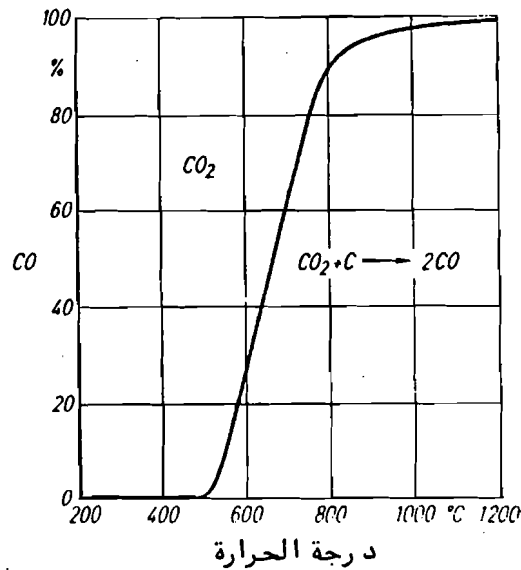
ويستخدم غاز الهيدروجين الذرى والمسمى أرك أتوم Arcatom باستخدام الكترود التنجستن لاشعال قوس اللحام . وكذلك عـرف استخدام اللحام بالكترود الكربون (الجرافيت) مع غاز واق منـذ فترة طويلة .

وقد حضرنا في مقام ذكر خلاط الغازات المختزلة استخدامها في عملية كربنة أسطح الصلب في عمليات التغليف (التقيسة السطحية Case Hardening) أو في عمليات اللحام بالسبائك الصلدة Brazing حيث تستخدم لاختزال أكاسيد أطراف الوصلة قبيل انصهار سبيكة اللحام أما الغازات المؤكسدة فتعرف بتلك الغازات أو خلاط الغازات التي تحتوى على أكسجين حر أو ثانى أكسيد الكربون ومنها على هذا الأساس خلاط الأرجون مع الأكسجين أو مع ثانى أكسيد الكربون أو مع كليهما (بقصد خفض التكاليف) . ويتوقف السلوك الكيميائى والميتالورجى لهذه الخلاط على مقدار الضغط الجزئى Partial Pressure للأكسجين تحت تأثير القوس الكهربائى أثناء اللحام . ولا يجد رفى هذا الصدد إغفال ذكر أن بخار الماء الذى يوجد فى القوس الكهربائى المحاط بغاز واق يعطى تأثيراً مؤكسداً مثال ذلك ما يفعله غاز الأرجون النقى تماماً والذى قد يصيبه أثر من بخار الماء أثناء اللحام

متلفة عند لحام التنتاليوم والزركونيوم وسبائكهما .

ويعتبر غاز ثانى أكسيد الكربون فى الوقت الحاضر غازا له أهمية كبيرة فى عمليات اللحام ليس فقط بسبب رخصه نسبيا إنما كذلك لكونه يعطى عمق تغلغل مناسب (عمق الانصهار) فى اللحام بالقوس الكهربائى لأن التفريغ الكهربائى الحادث خلاله لا يثبت فى الاتجاه العرضى بل يتغلغل فى العمق .

ولا يعتبر غاز ثانى أكسيد الكربون غازا خاملا بأى حال من الأحوال إنما هو فى عدد الغازات المؤكسدة كما سبق الإشارة إليه وكما يتضح من الرسم البيانى لحالة الاتزان (مخطط اتزان بودوارد Boudouards Equilibrium Diagram) شكل (1 - 199) أن غاز ثانى أكسيد الكربون لا يوجد متزنًا



شكل (1 - 199)

إلا في درجة حرارة الغرفة ويبدأ تحلله تدريجياً بارتفاع درجة الحرارة ويبطئ إلى أول أكسيد الكربون والأكسجين كالتفاعل التالي :

$$\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2$$

فعند درجة حرارة 2000°C تكون نسبة الجزيئات المتحللة نحو 7% وعند 2200°C تصل إلى 15% أى أنه دون 2000°C تكون نسبة التحلل ضئيلة ومهملة ولذلك يعتبر الغاز مستقرا .

وعند تواجد الكربون نجد أن الأكسجين في ظروف ناسكندى (* Nascendi Status) ولذلك يعطى منحنى اتزان خليط أول أكسيد الكربون ميلا شديدا في الصعود في نطاق درجتي الحرارة 600°C إلى 800°C .

ولما كانت عمليات اللحام بالصهر لكل أنواع صلب المنشآت تجرى بين % 1600 ، 1800°C أى أنها تتم في درجة حرارة تفوق 1000°C بكثير فإننا نجد أن ثاني أكسيد الكربون غير متزن في هذا النطاق وأن الأكسجين المتحلل منه رغم ضآلة كميته إلا أنه ذو قابلية شديدة للتفاعل . وإذا تواجد الكربون حينئذ كما في حالة اللحام بالكترود جرافيتي (طريقة بنادروس Benadros) فإنه بتخطي المنحنى نجد أن التفاعل المولد لأول أكسيد الكربون والمعدون على يمين المنحنى يتم . وإذا افتقد هذا المصدر من الكربون (كربون من جرافيت الإلكترود) فإن الأكسجين لا يجد بداً من أخذه من صلب

* Nascent Status هي حالة وجود العنصر في صورة نشطة مثل الأكسجين وغيره من الغازات حيث إنه عند بداية تحضيره أو تولده من تفاعل ما يكون في الصورة O الذرية - وهذه عند ما ترتبط بالكربون تكون المركب CO بسهولة أى $(\text{C} \rightleftharpoons \text{O})$ ونجد هنا أن ذرة أكسجين في الحالة (Nascent) أى النشيء أو حديث التوليد - ومن المعروف أن الأكسجين غير النشيء أى الجزيئي O_2 يكون مع الكربون CO_2 $(\text{O} = \text{C} = \text{O})$ وإذا احتجنا (C) مع (O_2) لتكوين CO فإنه لا بد من تحويل الأكسجين الجزيئي O_2 إلى 20° بتحلله بالتسخين إلى درجات حرارة عالية أى إلى الحالة النشيئة (Nascent) .

المعدن الأصلية أو معدن الحشو (الإلكتروود) هذا بجانب تأكسد باقي العناصر الأخرى الموجودة في الصلب مثل Mn ، Si وتحترق بسرعة قبل الكربون ذاته . وعلى هذا النمط يتولَّى الأكسجين أكسدة العناصر الأخرى التي قد توجد مثل Cr ، Ni ، Mo وغيرها في حالة استخدام ثاني أكسيد الكربون كغاز واقى وتتحول إلى أكاسيد خبيثة كل ذلك قبل أن يبدأ في أكسدة الحديد ذاته .

ومن ثم يمكن القول: إن استخدام غاز ثاني أكسيد الكربون بذاته كغاز واقى في عمليات اللحام يمكن أن يتم فقط في حدود درجات الحرارة الواقعة دون منطقة صعود المنحنى (800 °C - 600 °C) .

ولذلك فإنه عند لحام الصلب والمعادن الأخرى المرتفعة في درجة انصهارها لا يتم اللحام بوجود ثاني أكسيد الكربون بل بوجود أول أكسيد كربون والذي يكون قد تكون من الأكسجين المتحرر أثناء عملية اللحام . وعلى هذا المفهوم لا يُعتبر ثاني أكسيد الكربون غازاً مساعداً أو واقياً في عمليات اللحام إنما هو غاز أولى يدخل في التفاعلات المذكورة ويختفى وجوده عند درجات حرارة اللحام .

ولذلك يجب أن يستبعد غاز ثاني أكسيد الكربون من مجموعة الغازات الواقية المدركة تحت طرق اللحام بالقوس المعدنى والغاز الخامل (MIG = Metal Inert Gas) لأنه أولاً: ليس غازاً خاملاً . وثانياً: لأن تأثيره لا يكون مباشراً بل، في مراحل لاحقة لعدت تفاعلات كما سبق الإشارة إليه .

ولا يجوز كذلك اعتبار هذا الغاز فعّالاً بطريقة مباشرة كما هو الحال في طرق اللحام بالقوس المعدنى والغاز الفعّال (MAG = METAL Active Gas) وقد يكون الاصطلاح الأقرب للصحة هو القوس المعدنى المؤكسد (MOG = Metal Oxidising Gas) رغم أن نواتج تفاعله تقوم بالاختزال في مراحل لاحقة وفي حاله الأيدروجين (MRG = Metal Reducing Gas) .

هذا ومن ناحية أخرى فإنه يمكن الفصل فى القول بتأثير خلاط الغازات الواقية المستخدمة فى عمليات اللحام بتحدد اتجاهات التفاعلات (مؤكسد أو مختزل) وذلك فى درجات حرارة اللحام ومن ثم دراسة أثر هذه التفاعلات على خواص رزة اللحام الميتالورجية .

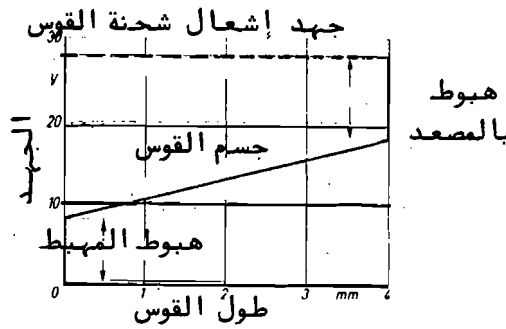
وكما سبق الإشارة إليه نعلم أن ثانى أكسيد الكربون يتولـى بطبيعته المؤكسدة أكسدة (حرق عناصر التسابك الأخرى فى المعدن الأصلي ومعدن الحشو) (إلكتروود) . لذلك فإنه يجب مجابهة هذه الظاهرة بإضافة كميات إضافية من هذه العناصر مثل (Mn ، Si) فى سلك (إلكتروود) اللحام مع مراعاة أن تفاعل الأكسوجين مع العناصر المختلفة يتم بمعدلات مختلفة حسب ظروف تواجده فى موقع التفاعل (أكسجين جزيئى أو ذرى أو متأين) . وكما سبق الإشارة إليه أن الأكسجين فى حالة ناسكندى (Nascendi Status) أكثر فعالية عن حالته الجزيئية إلا أن الغاز فى حالته المتأينة يكون له أعنف تأثير ويمكن أن يناظر الفلور (Fluor) وهذا ما يجب أخذه فى الاعتبار عند اختيار شدة التيار على سلك اللحام (إلكتروود) وقصارى القول فى هذا المقام أن التركيز النوعى للطاقة (Specific Intensity of Energy) فى القوس الكهربائى تؤثر تأثيرا حاسما فى درجة تأين الأكسجين ومن ثم سرعة حرقه للعناصر .

خواص القوس الكهربائى فى غاز واق :

يتراوح طول القوس الكهربائى التقليدى (باستخدام الإلكتروودات المغلفة) بين (3mm ، 5 mm) ويظل هذا الطول ثابتا إلى حد ما إذ أن ما ينصهر من معدن الإلكتروود يعوض بالتغذية .

إلا أنه في حالة استخدام الإلكترونيات المغلفة الشحنة (إلكترونيات الأحمال الكبيرة) فإن حفرة (قناة) تتكون في وسط الإلكترونات وخاصة في الأنواع المنخفضة في درجة انصهار قلبها (السلك) بينما يبطن انصهار الغلاف فيبد والإلكترونات وكأنه على شكل خرطوم. ومن ثم فإن الطول الحقيقي للقوس يزداد ويتضاعف ويرتفع تبعاً لذلك جهد القوس وبالتالي تزداد الطاقة الكهربائية المتحولة إلى حرارة في القوس وذلك عند ثبات شدة التيار. ورغم أن هذه الظاهرة معروفة منذ زمن بعيد إلا أنه يجدر التنبيه إليها في هذا المقام لأنها تصادف تطابقاً في حالة اللحام بالقوس الكهربائي والغازالواقى ومن ثم يلمس أثرها في اختلاف الطاقة المتحولة إلى حرارة في القوس.

وشكل (1 - 203) يوضح توزيع (هبوط) الجهد الكهربائي على طول القوس والذي يعاني هبوطاً حاداً عند كل من المصعد (الأنود Anode) والمهبط (الكاثود Cathode) ويبقى الهبوط منتظماً في داخل جسم (بلازما Plasma) القوس. وتتوقف مقدير هذا الهبوط في المراحل الثلاثة على مادتي المصعد والمهبط (الإلكترونات والشغلة) وأبعادهما.



شكل (1-203)

ففى اللحام بالقوس الكهربائى باستخدام غاز واق يظل الهبوط الحاد عند كل من المصعد والمهبط ثابتا بينما يتغير الهبوط على طول عمود بلازما القوس . وفى التفريغ (المرور الإلكتروني) المركز (المتجمع) يحدث ارتفاع فى كل من درجة الحرارة والضغط فى البلازما (الجسيمات المرتفعة فى درجة حرارتها = السريعة) السارية ويقصر الطريق الحر المتاح لمرور الإلكترونات ومن ثم تزداد شدة المجال اللازم للتأين الناشئ عن الاضطرابات . وعلى هذا الأساس تزداد الطاقة (مع ثبات شدة التيار) .

وإذا زيد طول القوس وزيدت شدة التيار فإن الطاقة المتحولة إلى حرارة تزداد باضطراب .

ولهذا السبب يحدث تباين (اختلاف) شديد فى الطاقة المستخدمة فى اللحام بغاز ثانى أكسيد الكربون وهذا التباين يتوقف على نوعية القوس المستخدم وما إذا كان قوسا قصيرا متقطعا (16 - 18 V) أو قوسا طويلا منتشرا (30 - 35 V)

وعند زيادة طول القوس وفى نفس الوقت شدة التيار المحمل به سلك اللحام حتى تجاوز حدود معينة من الطاقة المحمل بها سلك اللحام يترتب عليها زيادة سرعة انصهار سلك اللحام ومن ثم زيادة كفاءة أداء عملية اللحام الأمر الذى يميز عملية اللحام بثانى أكسيد الكربون عن طرق اللحام التقليدية ، إذ أنه لا يمكن فى اللحام بالقوس الكهربائى التقليدى بالإلكترودات المغلفة زيادة الطاقة دون حدود معينة إذا كنا نأمل فى تحقيق جودة معينة لدزة اللحام . وهنا يبرز التساؤل الذى يجدر الإجابة عنه وهو: هل توجد قيم مثلى لتحميل الإلكترود بالتيار فى اللحام بمساعدة غاز ثانى أكسيد الكربون ومن ثم زيادة سرعة اللحام ؟ وهل تنشأ أضرار ميتالورجية عند تجاوز هذه القيم؟ ولا مكان الإجابة على هذا التساؤل يجدر بنا وضع الحقيقة التالية نصب الأعين حتى تكون الدراسة على أساس سليم .

تعطى شحنات الأيونات ذات الكثافة المنخفضة للطاقة النوعية
 Specific Intensity of Energy درجات حرارة منخفضة أى أن انصهارها يكون هادئا (خافتا) بينما تعطى شحنات الأيونات ذات الكثافة المرتفعة للطاقة النوعية درجات حرارة مرتفعة أى أن انصهارها يكون ساخنا (عنيفا) .

وترتفع درجة التأين والفاعلية Activity فى اللحام بغاز ثانى أكسيد الكربون بزيادة تيار وجهد القوس .

ميتالورجية عملية اللحام بالصهر الهادئ والصهر الساخن :

يجدر بنا عند دراسة صهر المعادن التركيز على ظاهرتين وهما :
 امتصاص الغازات والنشاط الكيميائى (Chemical Activity)
 فالمعروف أن المعادن فى حالتها المنصهرة تذوب قدرها من الغازات أكبر من إذابتها لها فى الحالة الجامدة ولذلك تبدد الضرورة ملحة فى انفصال الغازات الزائدة عند حد الذوبان عند التجمد . وإذا حدث أن تفوقت سرعة جبهة نمو البلورات المتجمدة فى المنصهر على معدل انتشار الغازات الزائدة فإن انفصال هذه الغازات سوف يتأخر إلى ما بعد تمام التجمد ، كما يمكن أن يصاحب ذلك التأخر تأخر زمنى فى تكوين الأوجه الجامدة وحدوث ظاهرة الهبوط بدرجسة الحرارة التجمد إلى دون قيمتها (Undercooling) الأمر الذى يؤدى إلى عيوب ميتالورجية فى التجمد .
 ورغم أن الأكسجين يسبب انفصال أكاسيد المعدن فى صورة تجمعات متناثرة يكاد ضررها يكون منعدما إلا أن انفصال هذه الأكاسيد وتجمعها عند حدود الحبيبات يسبب ضررا بالغالخصائص المعدن ومن ناحية أخرى نجد أن النيتروجين ينفصل فى صورة نيتريدات دقيقة متناثرة ذات أثر ضئيل فى تصليد المادة إلا أن انفصال هذه النيتريدات تكون فى صورة ابرية فى اتجاهات معينة Preferred Orientation يكسب المادة قسافسة (هشاشة) عالية .

أما الهيدروجين فإنه يسلك مسلك عناصر التسابك (Alloying Elements) فى كونه يساعد على استقرار الأستنيت ويزيد من قابلية التصلد هذا بجانب أنه مع اعتبار العيوب المعروفة لتبلور المادة مثل الفجوات (Cavities) والانخلاعات والعيوب المتراسة (Stacking Faults) يتسبب الهيدروجين فى إنبات شروخ دقيقة (Microcracks) فى المادة أثناء التجمد .

ويمكن القول أن كل الغازات الذائبة فى المعادن المنصهرة تكون ضارة لأنها تقلل من مقاومة الشد والمطيلية للمعادن بعد تجمدها . وهذه الحقيقة واضحة فى اختلاف خواص أنواع الصلب المخمدة أى أنواع الصلب المختزلة والخالية من النيتروجين وتلك غير المخمدة . والأنواع المخمدة تكون نسبة الغازات الذائبة بها ضئيلة ومن ثم تكون قابليتها للحام عالية هذا إذا لم يتم اللحام بواسطة غير المتخصصين حيث قد يحدث إذابة لغازات جديدة أثناء اللحام وهذا يجعل جودة اللحام رديئة (مثل الخواص الميكانيكية) وتقرب من جودة الأنواع غير المخمدة .

ولا تتوقف كمية الغازات الذائبة على مقدار وصورة تواجد ها - كما هو الحال فى معدل ذوبان الهيدروجين الذى يفوق أربعة أمثال معدل النيتروجين - إنما تتوقف أيضا على درجة الحرارة . ولذا لك فإن اللحامات بالصهر الهادىء والتى يستخدم فيها الإلكترودات القاعدية تتصف بقلّة وجود الغازات بها عن اللحامات بالصهر الساخن والتى يستخدم فيها الإلكترودات الحامضية .

ويتوقف تأثير الغازات المذابة على طبيعة عملية التبلور (أثناء التجمد) إذ يغلب التبلور إلى تكون حبيبات دقيقة عن الحبيبات الشجرية الموجهة .

ومن جانب آخر يكون لعدد الإنبئات والنشاط على جبهة المتجمد - المنصهر دورا هاما فى التجمد ولما كانت هذه التأثيرات

تتوقف على درجة الحرارة فإن مدى هذه التأثيرات يتوقف على نوعية اللحام في جوّ من غاز ثاني أكسيد الكربون ، إذا كان بالصهر الهادئ أو بالصهر الساخن .

ومن الناحية العملية يتم على ضوء ما تقدم اختيار الإلكترودات المناسبة في الحدود المعمول بها لقابلية اللحام دون الإفراط في التحميل أو الإقلال منه ويقع الحد الأدنى لتحميل سلك اللحام في حدود ($85 \text{ A} / \text{mm}^2$) وجهد قدره 25 V .
بينما يقع الحد الأقصى لكثافة شدة التيار 440 A/mm^2 والجهد نحو 40 V .

خواص غاز ثاني أكسيد الكربون المستخدم .

يستخدم غاز ثاني أكسيد الكربون المنتج تجارياً على أن يكون نقياً بدرجة لا تقل عن 99,8 % كما أن نسبة الرطوبة المسموح بها لا يجوز أن تتجاوز $0,3 \text{ g/m}^3$ وذلك حتى لا تنشأ وصلات لحام مسامية بسبب وجود الرطوبة أو الشوائب الغازية .

وإن من أهم واجبات هذا الغاز هو إزاحة الهواء (الأكسجين والنتروجين) من منطقة اللحام على أن لا يتفاعل هو بدوره مع الفلزات المنصهرة في بركة اللحام شأنه في ذلك شأن كل الغازات الخاملة المستخدمة في عمليات اللحام . ولو أن غاز ثاني أكسيد الكربون لا يحقق هذه المتطلبات على وجه الكمال إلا أن رخص ثمنه يشجع على استخدامه رغم ذلك .

ويقوم الأكسجين الذرى الناشئ على التحلل بأكسدة العناصر حسب درجة شراحتها للتأكسد مثل عناصر السليكون والمنجنيز والكربون ولو ترك الأمر لحدوث ذلك لما أمكن التوصل إلى وصلات لحام تتصف بالخواص الميكانيكية المنشودة وهي العقبات التي صادفت استخدام

هذا الغاز في مطلع العشرينيات من هذا القرن . إلا أنه بتعويض العناصر المتأكسدة (المحترقة) عن طريق زيادة نسبة وجودها في سلك الحشو أمكن التغلب على تأثير الأكسجين المتحلل الضار أثره ولذلك يتصف سلك الحشو هذه الطريقة بارتفاع نسبة السليكون 0,8 إلى 1,0 % والمنجنيز 1,0 إلى 1,4 % في السلك المعروف بالرمز 10 MnSi5.

ويعبأ غاز ثانى أكسيد الكربون في أسطوانات تبلغ سعتها 30 لترا ويمكن أن تحتوى على وزن 20Kg من ثانى أكسيد الكربون الذى يصبح سائلا تحت ضغط التعبئة فى الأسطوانة والذى يبلى من 60 إلى 70 ضغط جوى (بار) حسب درجة الحرارة ، ويتحول وزن كل كيلو جرام من ثانى أكسيد الكربون السائل إلى 500 غاز عند انخفاض الضغط إلى الضغط الجوى . ولما كان تخفيض الضغط مع سحب كميات كبيرة من الغاز يترتب عليه انخفاض شديد فى درجة الحرارة يصل إلى نحو 70°C عند هبوط الضغط من 60 إلى 1 جوى بسبب الحرارة التى يحتاجها سائل ثانى أكسيد الكربون للتبخر ويسحبها من السائل ، فإن هناك خطورة تجمد جزء من الغاز وتحوله إلى ثلج (ثانى أكسيد الكربون الثلجى) وخاصة من محبس تخفيض الضغط وخاصة عند التصرفات الكبيرة للغاز الأمر الذى قد يؤدى إلى سد مساره . لذلك تجهز مخارج الاسطوانات بوحدة تسخين للغاز (ملف تسخين كهربائى) .

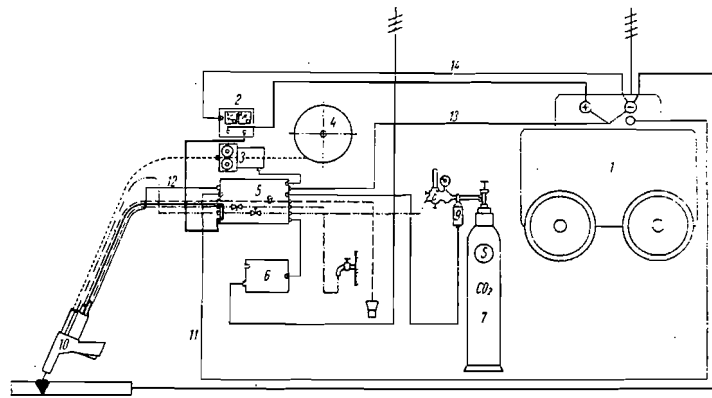
وحدة اللحام بثانى أكسيد الكربون :

تتكون وحدة اللحام بغاز ثانى أكسيد الكربون كما فى شكل (1, 215, 1-209) من مصدر للتيار (1) (محول مع موحد أو محرك مع مولد) مع أمبيرومتر وفولتمتر (2) ووحدة سحب سلك الحشو (3) من بكرته (4) ومع هذه الوحدة جهاز تحكم مركبى (5) ينظم ويتحكم فى شدة التيار مع تيار ماء التبريد الذى يمر فى مسدس اللحام لتبريده ومع معدل تغذية سلك الحشو . ومدخل تيار الشبكة (6) . أما اسطوانة غاز ثانى أكسيد الكربون فهى المرموز لها بالرقم (7) والتى يعملها صمام لخفض ضغط الغاز

الخارج ثم مسخن للغاز (9) حتى لا يتجمد عند فتحة الخروج (إذ يتكون ثاني أكسيد الكربون الثلجي) وهناك كذلك منظم الغاز الخارج (8) ومسدس اللحام المبرد بالماء (10) ويحمل الخرطوم الموصل بين وحدة التحكم المركزية ومسدس اللحام يحمل داخله خرطوم دخول وخروج ماء التبريد وكبل التيار الكهربائي وخرطوم تغذية غاز ثاني أكسيد الكربون .

أما الوصلة (11) فهي لتيار تنبيه وحدة التحكم المركزي ، (12) وصلة التحكم في ماء التبريد والغاز ، (13) وصلة التحكم في تيار اللحام ، وأخيرا الوصلة (14) فهي وصلة قياس .

وعادة ما تنتج وحدات اللحام بغاز ثاني أكسيد الكربون لتصلح لعدة أغراض وطرق أخرى من اللحام مثل لحام الألومنيوم بطريقة MIG أى اللحام بالقطب المعدني والغاز الخامل (الأرجون عادة) أو طريقة اللحام بالقوس المغمور (الغاطس) تحسب المسحوق (UP) .



شكل (209-1)

سلك الحشو :

يستخدم سلك حشو خاص للحام بغاز ثاني أكسيد الكربون بأقطار محدودة هي 0,6 ، 0,8 ، 1,0 ، 1,2 ، 1,4 ، 1,6 ، 2,0 ، 2,4 mm ، 3 mm من السلك 5 MnSi 10 ويكون تركيبه كما يلي :

| C | Si | Mn | P | S |
|-----------|---------|---------|-------|-------|
| حد أقصى | | | | |
| 0,08-0,12 | 0,8-1,0 | 1,0-1,4 | 0,030 | 0,030 |

وهذا السلك يصلح للحام الصلب فقير الكربون مثل :

صلب المنشآت St 34 ، St 37 ، St 42 ، St 52 و صلب المراجل 4 Mn 17 ، 5 Mn 19 و صلب الأنابيب St 35.29 ، St 42.29 ، 4 Mn 14

ولحماية سلك اللحام من الصدأ أثناء النقل والتخزين يتم طلاؤه بطبقة من النحاس فييد وفي مظهره وكأنه سلك من النحاس النقي (الأحمر) ولا يجوز أن تتجاوز طبقة النحاس 15 % من السلك .

تكنولوجيا اللحام :


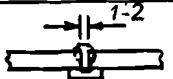

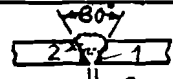
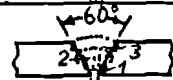

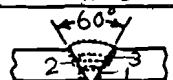
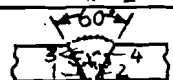
يوضح الجدول التالي شروط تجهيز طرفي الوصلة قبيل اللحام وشدة التيار المستخدمة والجهد وقطر السلك ومعدل التغذية وذلك لثخانات الألواح المختلفة المطلوب لحامها وذلك دون استخدام ساند تحت الجذر . ويميل مسدس اللحام على خط اتجاه الحام بنحو 10° مع تحركه حركة بندولية ضعيلة لتقليل تحدب درزة اللحام .


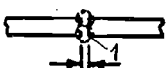
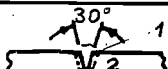
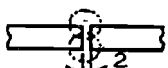
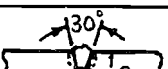
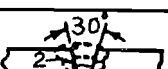

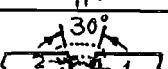
وعند اللحام في أوضاع مختلفة أو تعدد الأشواط يبدأ باللحام بخط أولى يدويا باستخدام سلك لحام قطره 2 mm ، 1

لعمل خط الجذر وقد يخصص في حالة الإنتاج الغزير
وتعدد ماكينات اللحام ماكينة خاصة للحام خط الجذر
ثم تكمل الأشواط الأخرى على ماكينات أخرى . جداول (211-1)

. (212 - 1)

جدول (211-1)

| عدد المسارات | التيار A | الجهد V | القطر mm | استهلاك السلك m/min | تجهيز المشغولة | سمك المشغولة mm |
|-----------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|---|--------------------|
| 1 | 160—200 | 22—25 | 1,6 | 3,5—4 |  | 5—6 |
| 1 | 250—270 | 25—30 | 1,6 | 4—5 |  | 8 |
| 1 | 400—430 | 30—35 | 2 | 5—5,3 |  | 10 |
| 1. 2. | 90—110 150—160 | 20—23 22—24 | 1,2 | 1,8 4 |  | 8 |
| 1. 2,3. | 90—110 150—160 | 20—23 22—24 | 1,2 | 1,8 4 |  | 10 |
| 1. 2,3. | 90—110 150—170 | 20—23 22—25 | 1,2 | 1,8 4—4,5 |  | 12 |
| 1. 2,3. | 90—110 160—180 | 20—23 25—30 | 1,2 | 1,8 4—4,5 |  | 15 |
| 1. 2,3,4. | 100—110 160—180 | 20—23 25—30 | 1,2 | 1,8—2 4—4,5 |  | 18—20 |

| عدد المسارات | التيار A | الجهد V | القطر Ø mm | استهلاك السلك m/min | تجهيز المشغولة | سمك المشغولة mm |
|--------------|--------------------|----------------|------------|---------------------|--|-----------------|
| 2 | 130—160 | 22—24 | 1,2 | 3—3,2 |  | 5—6 |
| 2 | 190—210 | 23—26 | 1,6 | 3 |  | 8 |
| 2 | 150—180 | 23—26 | 1,2 | 3,5 |  | 8 |
| 2 | 220—250 | 24—28 | 1,6 | 4,3 |  | 10 |
| 1. 2. | 220—250 | 24—28 | 1,6 | 4,3 |  | 10 |
| 1. 2.3. | 180—200 250—270 | 23—25 25—30 | 1,6 1,6 | 2,8 5,5 |  | 12 |
| 1. 2.3. | 180—200 260—280 | 23—25 25—30 | 1,6 1,6 | 2,8 5,5 |  | 15 |
| 1. 2.3. | 380—420 400—430 | 30—35 32—36 | 2 | 4,8—5,5 |  | 18—20 |

والجدول التالي يبين معدل صهر سلك الحشو مع معدل التغذية وشدة التيار وصهره وذلك لأقطار سلك حشو مختلفة .

جدول (1-213)

| معدل الصهر Kg / h | جهد القوس V | شدة التيار A | معدل تغذية السلك m/min | قطر سلك الحشو mm |
|----------------------|----------------|-----------------|------------------------------|------------------------|
| 2,9-0,96 | 23 - 20 | 180 - 100 | 5,4-1,8 | 1,2 |
| 5,6 - 1,7 | 24 - 22 | 340 - 180 | 5,8-1,8 | 1,6 |
| 8,0 - 2,7 | 32 - 24 | 440 - 200 | 5,4-2,0 | 2,0 |

العيوب المحتملة في اللحام :

إن عيوب الشروخ المتوقع حدوثها في درزة اللحام بالقوس الكهربائي التقليدي يمكن أن تحدث في اللحام بثاني أكسيد الكربون . أما تجمعات الخبث فلا يحدث حدوثها . إلا أن عيوب تكون المسام أو الفقاعات فهي قد تحدث في هذا اللحام بصورة أكثر احتمالاً للأسباب التالية :

- وجود رطوبة في غاز ثاني أكسيد الكربون .
- وجود رياح عابرة عند موقع اللحام بسرعة تفوق 2 m/s ومن ثم يقل مفعول وقاية غاز ثاني أكسيد الكربون .
- تلوث فوهة منفث الغاز (فونية) وضيقها أو انسدادها أو عدم تمركزها .
- عدم اختيار المعدل المناسب لغاز ثاني أكسيد الكربون .
- انسداد محبس الغاز بسبب تجمد الغاز (تكون ثلج) .
- تسرب الغاز من الخراطيم الموصلة .

- ارتفاع جهد التيار الكهربائي عن الحد المناسب ومن ثم زيادة طول منفذ الغاز ومعدل التغذية للسلك الحشو .
- اختيار سلك حشو غير مناسب بانخفاض نسبة كل من Si , Mn .
- عدم تنظيف طرفي وصلة اللحام قبل بدء اللحام من الصدأ أو الأكسدة والرطوبة والزيوت والدهون أو أى ملوثات أخرى .

احتياطات الأمن :

تخضع طريقة اللحام بغاز ثانى أكسيد الكربون لاحتياطات الأمن المطبقة على اللحام بالقوس الكهربائي المعتاد مثل أخطار التيار الكهربائي واشعاع القوس والغازات والأدخنة المتولدة من عملية اللحام يضاف إلى ذلك الأخطار التالية والتي يجب مراعاتها .

1 - التيار الكهربائي :

يجب أن يكون مكان اللحام متسعاً ويتيح سرعة وحرية الحركة لإمكان التصرف فى حالة الأخطار المفاجئة وإذا كان المكان ضيقاً فتوضع الأجهزة الثابتة مثل المحولات واسطوانات الغاز خارج المكان .

يجب أن يراجع عزل التوصيلات الكهربائية من وقت لآخر واستخدام الأطراف النحاسية الثابتة (الكلبسات) للتوصيل بالربط المحكم .

2 - الأشعة فوق البنفسجية UV :

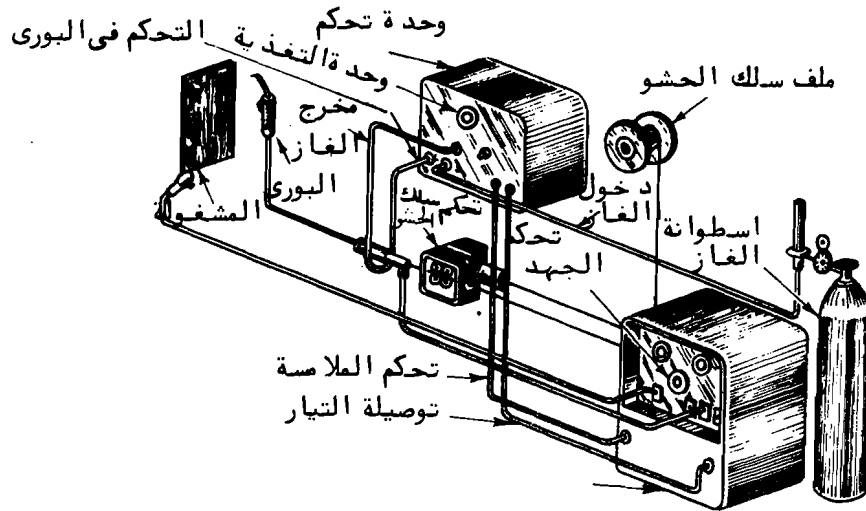
يزيد إشعاع الأشعة فوق البنفسجية فى حالة قوس اللحام مع ثانى أكسيد الكربون عنه فى القوس المفتوح المعتاد لذلك يجب الاحتياط بوقاية العين والنظارات الخاصة بها والجسم واليد بين بالملايس المعززة بمادة الرصاص لحجب نفاذ الأشعة . ومن ثم اتقاء ضررها .

غاز أول أكسيد الكربون :

إن تحليل غاز ثاني أكسيد الكربون عند درجات الحرارة المرتفعة يتولد عنه غاز أول أكسيد الكربون السام يتراوح تركيز الغاز بين 55 ، 110 mg/m^3 . وعند قياس نسبة تركيز غاز أول أكسيد الكربون على بعد 25 cm من القوس وجد أنها تتراوح بين 5 ، 20 mg/m^3 أى تقع فى الحدود المأمونة إلا أنه يجب الاحتياط بالتهوية الخفيفة لإزاحة المتجمع من هذا الغاز السام .

غاز ثاني أكسيد الكربون :

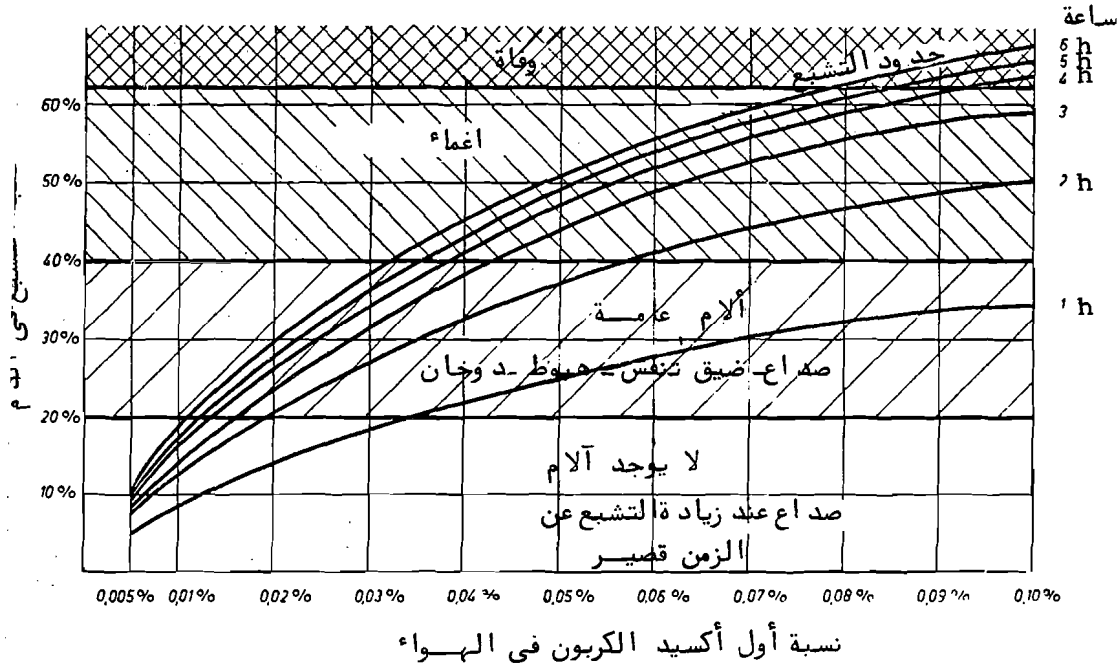
من المعروف أن غاز ثاني أكسيد الكربون غاز خائق إذا تجاوز تركيزه 9000 mg/m^3 ويبين المنحنى الموضح فى شكل (1 - 216) حد ود تأثير الانسان بغاز ثاني أكسيد الكربون مع الزمن (علاقة نسبة تشبع الدم به) مع نسبة تركيز الغاز فى الهواء المستنشق .



وحدة MIG (Sigma)

شكل (1 - 215)

لذلك يجب الاحتياط بإزاحة ثاني أكسيد الكربون المتجمع في موقع اللحام وخاصة إذا كان الموقع مغلقاً وتكون الإزاحة من أسفل إلى أعلى لأن غاز ثاني أكسيد الكربون أثقل من الهواء بما يعادل 50 % وهو لذلك يتجمع في أسفل الغرفة إذا كانت مغلقة وليس به التهوية الكافية .



شكل (1 - 216)

* وضع اللحام : الأفقي والرأسي

* الغاز الخامل المستخدم : ثاني أكسيد الكربون

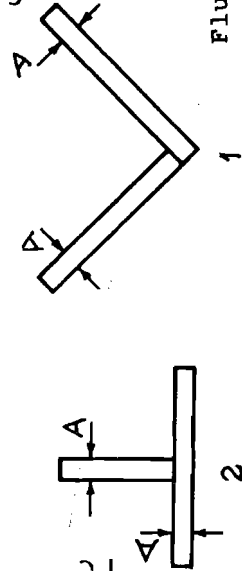
* قطر سلك اللحام المستخدم : 1, - مم

جدول لحام النصف أوتوماتيك (بالقوس المعجب) القياسية

* لحام زاوية

المواصفات القياسية البريطانية

P/MG/MS/3.2/5 رقم المواصفة



أسلاك محشوة بمساعد الصهر Flux Cored Wire

| معدل الاستهلاك لسلك اللحام وغاز ثاني أكسيد الكربون | عناصر ومقومات اللحام | | | أبعاد الصاج والوصلة | |
|--|---------------------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------|-----------|
| | معدل استهلاك سلك اللحام / متر / دقيقة | سرعة اللحام / ساعة | الحديد المستخدم (فولت) V | شدة التيار (أمبير) A | رقم الشكل |
| 21,6 | 0,036 | 39 | 16 | 25 | 1 أو 2 |
| 21,6 | 0,04 | 39 | 16 | 130 | 1,6 |
| 21,6 | 0,042 | 39 | 17 | 140 | 2 |
| 21,6 | 0,048 | 39 | 18 | 150 | 2,6 |
| 28,- | 0,063 | 30 | 19 | 160 | 3,2 |
| 28,- | 0,073 | 30 | 22 | 180 | 4,8 |
| 26,6 | 0,068 | 43 | 28 | 205 | 4,8 |
| 28,- | 0,083 | 30 | 23 | 200 | 6,4 |
| 40,1 | 0,118 | 28 | 28 | 215 | 6,4 |
| 54,0 | 0,158 | 21 | 29 | 225 | 8,- |

ملاحظات

- المسافة بين طرفي يوري اللحام ونقطة الانصهار وتراوح بين 13 مم ، 16 مم ، 17 لتر / دقيقة ، 21 لتر / دقيقة

جدول لحام النصف أوتوماتيك (بالقوس المحجب) القياسية

* لحام زاوية

* وضع اللحام : الوضع الرأسى

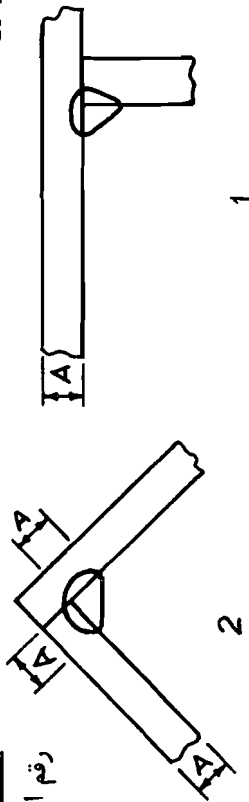
المواصفات القياسية البريطانية

رقم المواصفة :

P/MG/MS/ 3.1/6

* الغاز الخامل المستخدم : ثاني أكسيد الكربون

* قطر سلك اللحام المستخدم : 1,0 مم



أسلاك محشو بمساعد الصهر

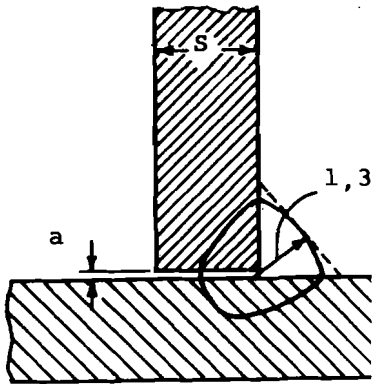
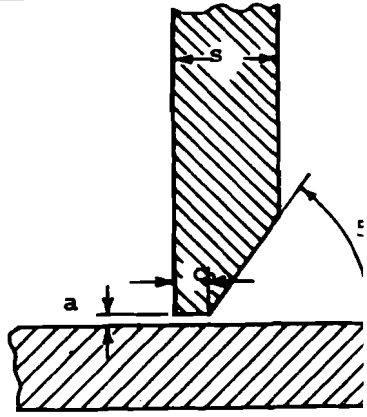
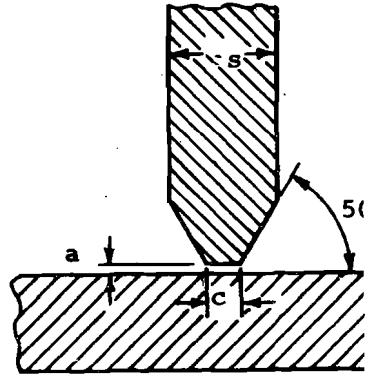
| أبعاد الصاج والوصلنة | | | عناصر ومقومات اللحام | | | | معدل الاستهلاك لسلك اللحام وغاز ثانى أكسيد الكربون | |
|---|-----------|---------|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------|--|--|
| أبعاد المعدن الطول / قطر الاسلاك (مم) | رقم الشكل | ملاحظات | ترتيباً شواط اللحام وعدد همام | شدة التيار (أمبير) | الجهود المستخدم (فولت) | سرعة اللحام متر / ساعة | تغذية سلك اللحام متر / دقيقة | معدل استهلاك سلك اللحام غاز ثانى أكسيد الكربون كجم / متر |
| 1,21 مم | 2,11 | - | 1 | 125 أمبير | 17 فولت | 27 متر/ساعة | 3,8 متر/دقيقة | 0,051 كجم/متر لحام طولى |
| 1,62 | 2,11 | - | 1 | 130 | 18 | 27 | 4,2 | 0,055 |
| 2,03 | 2,11 | - | 1 | 140 | 18 | 27 | 4,3 | 0,057 |
| 2,64 | 2,11 | - | 1 | 150 | 20 | 23 | 5,1 | 0,08 |
| 3,25 | 2,11 | - | 1 | 160 | 21 | 18 | 5,2 | 0,103 |
| 5,0 | 2,11 | - | 1 | 180 | 22 | 18 | 6,1 | 0,119 |
| 6,0 | 2,11 | - | 1 | 195 | 24 | 18 | 6,9 | 0,134 |

ملاحظات : 1- المسافة بين طرف بورى اللحام ونقطة الانصهار يتراوح بين 6 مم ، 10 مم .

2- يضبط معدل استهلاك غاز ثانى أكسيد الكربون بين 2 لتر / دقيقة ، 17,0 لتر / دقيقة .

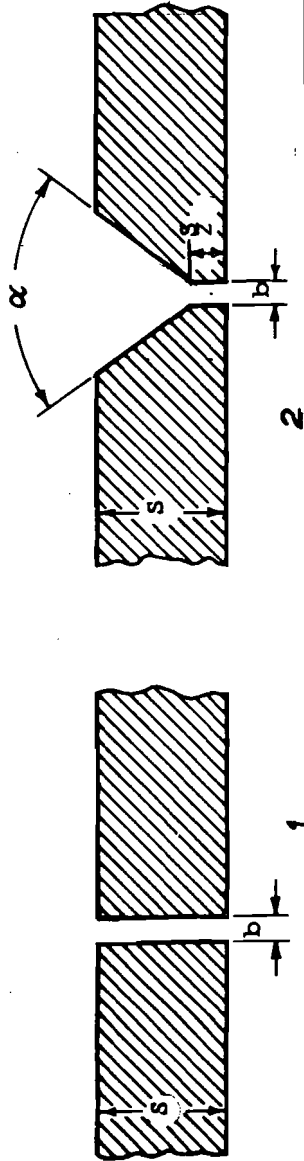
3- أفضل معدل استهلاك متوسط لغاز ثانى أكسيد الكربون عند 14 لتر / دقيقة .

المواصفات الروسية للحامات الزاوية تامة التغلغل
أبعاد أطراف الوصلات

| الأبعاد | | | | شكل الوصلة |
|-----------------|-----------------|-----------------|---|---|
| c _{mm} | a _{mm} | s _{mm} | | |
| 0 | 0+2 | حتى 12 | لحام أتوماتي تحت مساعد صهر |  |
| 0 | 0+1,5 | حتى 8 | لحام نصف أتوماتي بغاز ثاني أكسيد الكربون | |
| 0 | 0+1,5 | حتى 6 | لحام يدوي | |
| 4 | 0+1 | 8-14 | لحام نصف أتوماتي بغاز ثاني أكسيد الكربون |  |
| 2 | 2 ^{±1} | 6-14 | لحام يدوي | |
| 4 | 1+1 | > 14 | لحام أتوماتي تحت مساعد صهر |  |
| 4 | 1+1 | > 14 | لحام نصف أتوماتي بغاز ثاني أكسيد الكربون | |
| 2 | 2 ^{±1} | > 14 | لحام يدوي | |

المواصفات البريطانية









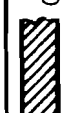

(SA/MS/3.1/3)

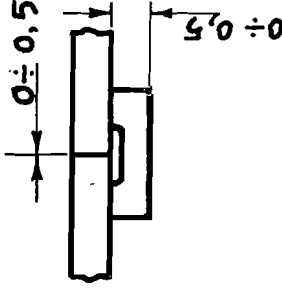


| لحام الوجه الأمامى أوتوماتى (نهائى) | | | | لحام الظهر | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|------|------------|---------------------|----------------------|-------------------|-----|-----------|---------------------|
| قطر سلك اللحام (mm) | سرعة اللحام m/min | التيار | | α° | قطر سلك اللحام (mm) | السرعة الطولية m/min | التيار | | رقم الشكل | ثخانة الشغلة (S) mm |
| | | V _{O.C.} | A | | | | V _{O.C.} | A | | |
| 4 | 0,69-0,81 | 30 - 34 | 500 | - | 4 | 0,71-0,81 | 30-34 | 400 | 1 | 6,4 |
| 4 | 0,61-0,71 | 30 - 34 | 650 | - | 4 | 0,71-0,81 | 30-34 | 500 | 1 | 9,7 |
| 4,7 | 0,55 | 31 - 35 | 750 | - | 4,8 | 0,55 | 31-35 | 650 | 1 | 12,8 |
| 4,7 | 0,41 | 32 - 36 | 900 | - | 4,8 | 0,48 | 31-35 | 725 | 1 | 16,- |
| 4,7 | 0,46 | 31 - 35 | 950 | 90 | 4,8 | 0,56 | 30-34 | 650 | 2 | 16,- |
| 6,4 | 0,43 | 32 - 36 | 1000 | 75 | 6,4 | 0,51 | 31-35 | 700 | 2 | 19,2 |
| 6,4 | 0,38 | 33 - 37 | 1100 | 60 | 6,4 | 0,51 | 31-35 | 700 | 2 | 22,4 |
| 6,4 | 0,33 | 34 - 38 | 1200 | 45 | 6,4 | 0,51 | 31-35 | 700 | 2 | 25,4 |

جدول اللحام الأتوماتي
المواصفات الألمانية TGL

لحام تناكبي أوتوماتي

| شكل وصلة اللحام وعدد الأشواط | سرعة اللحام m/min | التيار | | قطر سلك اللحام mm | شخانة الشغلة mm |
|---|----------------------|-------------------|---------|----------------------|--------------------|
| | | V _{O.C.} | A | | |
| 1  | 0,6 | 36 | 450 | 3 | 5 |
| 1  | 0,55 | 35 | 550 | 2 | 6 |
| 1  | 0,6 | 32 | 400 | 4 | 6 |
| 2  | 0,4 | 32 | 540 | 4 | 8 |
| 2  | 0,4 - 0,5 | 32 | 650-700 | 4 | 10 |
| 2  | 0,4 - 0,45 | 32 | 650-700 | 4 | 12 |
| 2  | 0,3 - 0,35 | 32 | 700-750 | 4 | 15 |
| 2  | 4 | 36 | 550 | 4 | 12 |
| 2  | 3 | 36 | 650 | 4 | 15 |
| 3  | 3 | 36 | 650 | 4 | 20 |

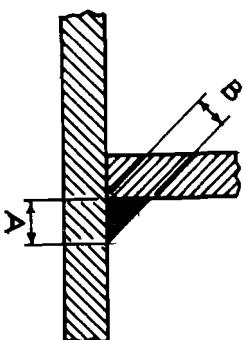
| نوع الوصلة | معدن الوصلة mm | التنجستن الوصلة mm | القطر mm | | التغذية m/h | استهلاك غاز الأرجون l/min | A | m/h |
|---|----------------------|--------------------------|-------------|-------|----------------|------------------------------------|-------|-----|
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|  | 2 | 3-4 | 2 | 54 | 16 ÷ 18 | 170 ÷ 180 | 19 | |
| | 3 | 4-5 | 2 | 20-24 | 16 ÷ 18 | 200 ÷ 220 | 15 | |
| | 4 | 4-5 | 2 | 20-24 | 18 ÷ 20 | 210 ÷ 235 | 11 | |
| | 6 | 5 | 2 | 20-26 | 18 ÷ 20 | 230 ÷ 260 | 8 | |
| | 10 | 10 | 2 | — | 35 | 650 ÷ 700 | 12-14 | |
| | 14 | 10 | 2 | — | 40 | 650 ÷ 700 | 6-8 | |

جدول لحام النصف أوتوماتيك (بالقرس المحجب)

* لحام زاوية

المواصفات القياسية الألمانية

T G L



* وضع اللحام : للوضع الأرضي
* الغاز الخامل المستخدم : ثاني أكسيد الكربون

سلك مصمت

| استهلاك غاز ثاني أكسيد الكربون لتر / دقيقة | عدد الأشواط | قطر سلك اللحام مم | الجرس المستخدم (فولت) | التيار المستخدم (أمبير) | قد م اللحام (A) | ارتفاع اللحام (B مم) |
|--|-------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|------------------------|
| 15 لتر / دقيقة | 1 | 1, 2 | 24 | 200 | 4, 2 | 3 |
| 15 لتر / دقيقة | 1 | 1, 6 | 27 | 270 | 7 | 5 |
| 15 لتر / دقيقة | 1 | 1, 6 | 27 | 270 | 8, 5 | 6 |
| 15 لتر / دقيقة | 1 | 1, 6 2 | 27 | 270 | 11, 3 | 8 |

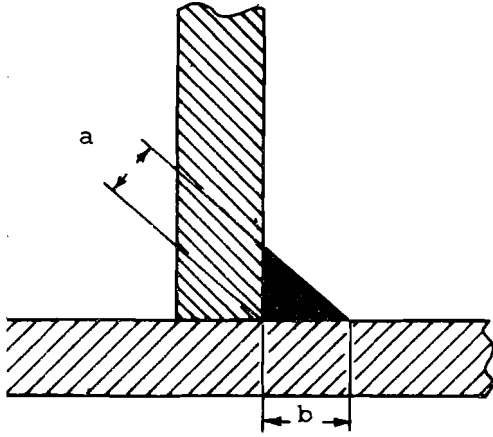
جد اول لحام نصف أتومساتي
قوس محجب

لحام زاوية

وضع اللحام = أفقى أرضى

الغاز المستخدم =

ثانى أكسيد الكربون



المواصفات الالمانية T G L

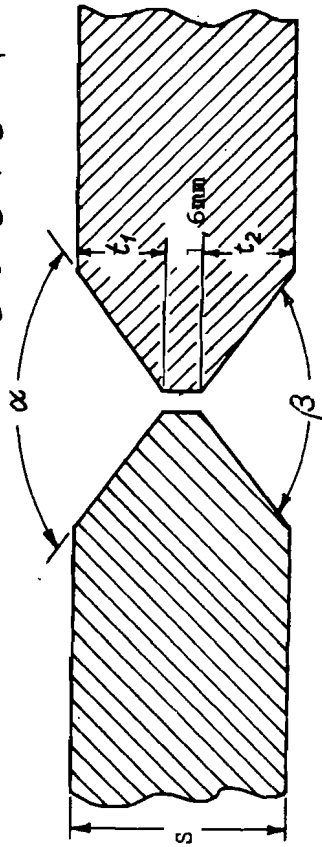
سلك مصمت

| ارتفاع اللحام a mm | عرض قديم اللحام b mm | التيار | | قطر سلك اللحام mm | عدد الأشواط | استهلاك الغ l/min |
|--------------------------|-------------------------------|--------|-----|-------------------------|-------------|-------------------------|
| | | V | A | | | |
| 3 | 4,24 | 24 | 200 | 1,2 | 1 | 15 |
| 5 | 7,07 | 27 | 270 | 1,6 | 1 | 15 |
| 6 | 8,48 | 27 | 270 | 1,6 | 1 | 15 |
| 8 | 11,3 | 27 | 270 | 1,6-2 | 1 | 15 |

المواصفات البريطانية
SA/MS/3.1/5

جد اول اللحام الأتوماتي

لحام تناكبي - مزدوج (من وجهين) - لحام ظهر يدوي - لحام أمامي نهائي أوتوماتي



* ينصح باستخدام قيم أعلى من الحد الأدنى

| اللحام اليدوي الغلفي | قطر سلك اللحام | سرعة اللحام | التيار المستخدم | | أبعاد الوصلة | | سماكة الشغلة |
|----------------------|-------------------|-------------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|--------------|
| | | | V _{O.C.} | حد أدنى A | α° | t ₁ mm | |
| β° | t ₂ mm | m/min | | | | | S mm |
| 90 | 6,4 | 0,41 | 35 | 850 | 60 | 7,- | 12,8 |
| 90 | 6,4 | 0,41 | 36 | 900 | 60 | 6,4 | 14,- |
| 90 | 8° | 0,355 | 36-37 | 1000 | 60-70 | 6,4 | 16,- |
| 90 | 9,6 | 0,305 | 36-38 | 1050 | 60-70 | 8,- | 19,2 |
| 90 | 9,6 | 0,305 | 37-39 | 1150 | 60 | 11,2 | 22,4 |
| 90 | 11,2 | 0,305 | 37-39 | 1250 | 60 | 12,8 | 25,4 |

جد اول لحام قوس محجب نصف أتوماتي








لحام تناكبي

وضع اللحام : أفقى أرضى

غاز الحماية : ثانى أكسيد الكربون

المواصفات الألمانية TGL

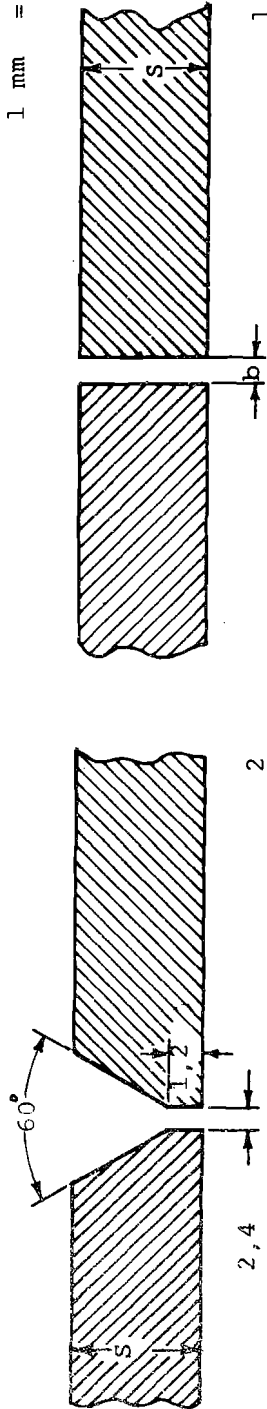
سلك مصمت

| شكل الوصلة | التيار | | عدد الأشواط | قطر سلك اللحام mm | معدل استهلاك الغاز l/min | ثخانة الشغلة mm |
|---|-----------|---------|----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| | V o.c. | I A | | | | |
|  | 18 | 70 | 1 | 1 | 8 | 1 |
|  | 27-34 | 250-400 | 2 | 1,2 | 12 | 6 |
|  | 32 | 300 | 2 | 1.6 | 12 | 10 |
|  | 27-32 | 250-300 | 4 | 2 | 15 | 15 |
|  | 27-32 | 250-300 | 6 | 2 | 15 | 20 |
|  | 27-32 | 250-300 | 7 | 2 | 15 | 25 |
|  | 27-32 | 250-300 | 8 | 2 | 15 | 30 |

لحام تناكبي
 وضع للحام = أفقي أرضي
 الغاز = ثاني أكسيد الكربون
 قطر سلك اللحام = 1 mm

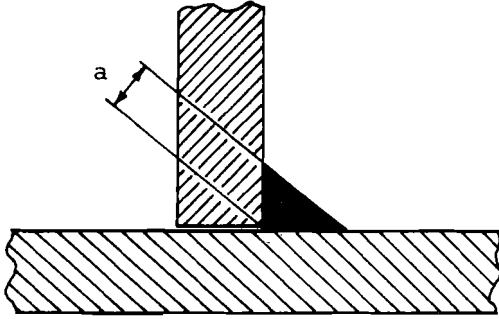
جدول اللحام نصف الأوتوماتي

المواصفات البريطانية
 رقم المواصفة



| معدل الاستهلاك لكسل متر طولي للحام | | متغيرات اللحام | | | | الأبعاد | | | |
|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|-----------|----------------------|
| ثاني أكسيد الكربون g/m | سلك اللحام kg/m | تغذية سلك الحام m/min | سرعة اللحام m/h | الجهود V o.c. | شدة التيار A | ترتيب الأشواط | الغبرة b mm | رقم الشكل | شخانة الشغلة S mm |
| 21,6 | 0,0358 | 3,8 | 39 | 17 | 100 | 1 | 0 | 1 | 1,21 |
| 28 | 0,0454 | 4,2 | 30 | 18 | 110 | 1 | 0 | 1 | 1,62 |
| 28 | 0,0409 | 4,6 | 30 | 20 | 135 | 1 | 0 | 1 | 2,03 |
| 36,4 | 0,100 | 6,4 | 23 | 21 | 150 | 1 | 1,2 | 1 | 2,64 |
| 36,4 | 0,119 | 7,2 | 23 | 22 | 180 | 1 | 1,6 | 1 | 3,25 |
| | | | 23 | 23 | 190 | 1 | 2,4 | 1 | 4,76 |
| | | 5,2 | 23 | 22 | 160 | (1) | 2,4 | 2 | 6,35 |
| 73 | 0,116 | 5,2 | 23 | 22 | 160 | (2) | | | |

لحام الزاوية الأتوماتي



| سرعة اللحام m/min | التيار | | عدد الأشواط | قطر سلك اللحام mm | ارتفاع اللحام a mm |
|-------------------------|--------|-----|-------------|-------------------------|-----------------------|
| | V o.c. | A | | | |
| 0,6 | 38 | 500 | 1 | 4 | 4 |
| 0,6 | 31 | 600 | 1 | 4 | 5 |
| 0,5 | 33 | 650 | 1 | 4 | 6 |
| 0,4 | 35 | 700 | 1 | 4 | 8 |

علاقة عملية (مستنبطة من أصل روسي)

$$J_w = 110 d + 10 d^2$$

$$i = 47,7 \frac{A}{m^2}$$

$$h_p = K \frac{J_w}{100}$$

mm

A

$\frac{A}{mm^2}$

mm

d = قطر سلك اللحام

J_w = شدة التيار

i = كثافة التيار

h_p = عمق التغلغل

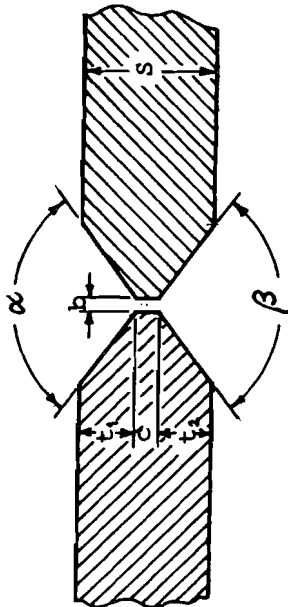
K = معامل

1,2 الى 1,3

بالنسبة للتيار المستمر قطبية عكسية وقطر سلك = 4mm

جدول اللحام الأوتوماتي

المواصفات البريطانية



لحام تناكبي مزدوج (من الوجهين) X

ينصح باستخدام قيم أعلى من الحد الأدنى للتيار

| لحام الوجه النهائي | | | | لحام الظهر | | | |
|----------------------------|-------------------------|--------|------|--------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|
| قطر سلك اللحام mm | سرعة اللحام m/min | التيار | | أبعاد الوصلة | | قطر سلك اللحام mm | سرعة اللحام m/min |
| | | V o.c. | A | a | t ₁ mm | | |
| 6,4 | 0,355 | 35-37 | 1050 | 90 | 4,76 | 6,4 | 0,41 |
| 6,4 | 0,33 | 35-37 | 1100 | 90 | 6,4 | 6,4 | 0,41 |
| 6,4 | 0,33 | 36-38 | 1150 | 90 | 6,4 | 6,4 | 0,41 |
| 6,4 | 0,33 | 36-38 | 1200 | 90 | 8,- | 6,4 | 0,41 |
| 6,4 | 0,305 | 36-38 | 1250 | 90 | 8,- | 6,4 | 0,38 |
| 6,4 | 0,28 | 37-39 | 1300 | 90 | 8,- | 6,4 | 0,38 |
| 6,4 | 0,28 | 37-39 | 1350 | 90 | 9,6 | 6,4 | 0,35 |
| 8 | 0,254 | 38-40 | 1450 | 70 | 12,8 | 6,4 | 0,33 |
| 8 | 0,254 | 39-41 | 1500 | 70 | 12,8 | 6,4 | 0,25 |
| 8 | 0,2 | 39-41 | 1600 | 70 | 16,- | 6,4 | 0,25 |
| 8 | 0,178 | 40-42 | 1800 | 80 | 17,5 | 8 | 0,20 |
| 8 | 0,152 | 40-42 | 1850 | 80 | 19,2 | 8 | 0,178 |
| 8 | 0,127 | 41-43 | 1850 | 80 | 22,4 | 8 | 0,15 |
| 8 | 0,114 | 43-44 | 2000 | 80 | 25,4 | 8 | 0,127 |

| المعدن S mm | أبعاد الوصلة | | | التيار المستخدم V o.c. | سرعة اللحام m/min | قطر سلك اللحام mm |
|----------------|--------------|-------------------|------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| | B° | t ₂ mm | C mm | | | |
| 16 | 90 | 4,8 | 6,4 | 35 | 0,41 | 6,4 |
| 17,5 | 90 | 4,8 | 6,4 | 35 | 0,41 | 6,4 |
| 19 | 90 | 4,8 | 8 | 35-36 | 0,41 | 6,4 |
| 20,6 | 90 | 4,8 | 8 | 35-36 | 0,41 | 6,4 |
| 22,4 | 60 | 8 | 8 | 35-37 | 0,38 | 6,4 |
| 25,4 | 60 | 8 | 8 | 36-38 | 0,38 | 6,4 |
| 28,6 | 60 | 60 | 60 | 36-38 | 0,35 | 6,4 |
| 31,8 | 60 | 60 | 60 | 37-39 | 0,33 | 6,4 |
| 35,- | 60 | 60 | 60 | 37-39 | 0,25 | 6,4 |
| 38,2 | 60 | 60 | 60 | 37-39 | 0,25 | 6,4 |
| 44,6 | 60 | 60 | 60 | 3739 | 0,20 | 8 |
| 50,8 | 60 | 60 | 60 | 38-40 | 0,178 | 8 |
| 57,2 | 70 | 70 | 70 | 39-41 | 0,15 | 8 |
| 63,6 | 70 | 70 | 70 | 39-41 | 0,127 | 8 |

اللحام بقوس الكربون Carbon Arc Welding :

إنه رغم شيوع استخدام القوس الكهربائي بالإلكترودات المعدنية سواء التنجستن أو المعدنية العارية أو المكسوة إلا أن استخدام القوس الكهربائي المتولد بين إلكترود الكربون والمشغولة يكون أكثر صلاحية في بعض الحالات الخاصة . ويشبه قوس إلكترود الكربون نظيره قوس إلكترود التنجستن في كونه إلكترود غير مستهلك وتنحصر وظيفته في توليد الحرارة اللازمة لصهر طرفي الوصلة ومن ثم يحتاج اللحام إلى سلك حشو . ويتميز إلكترود الكربون برخص ثمنه قياساً بالإلكترودات الأخرى .

قوس الكربون بتيار مستمر :

لا تصلح مقابض (بوري) الإلكترودات الأخرى لإلكترود الكربون بسبب الارتفاع الشديد لدرجة حرارة قطب الكربون وتوجهه (توهج أبيض) وهو ما يتلف المقبض . ولذلك تصمم مقابض خاصة تبرد بالهواء المتدفق حول فوهته وفي بعض الأحيان يستخدم الماء في التبريد في عمليات اللحام المستمرة .

ويستخدم عامل اللحام د رعا للوقاية من الحرارة الشديدة . وتصنع الإلكترودات من الجرافيت النقي أو الكربون المخبوز وإلكترود الجرافيت عمره أطول ويتحمل شدة عالية للتيار إلا أنه أغلى ثمناً . ولذلك يستخدم الكربون المخبوز في معظم إلكترودات الكربون لعمليات اللحام العادية . ويشكل طرف الإلكترود بشكل مخروطي بطول يبلغ 18 mm وطرفه بقطر 1,5 mm وتتراوح أقطار الإلكترودات بين 3 و 10 mm ويتوقف اختيار القطر على شدة التيار المستخدمة والتي تتوقف على سمك المشغولة . ويمكن اختيار التيار المناسب لكل مشغولة باختبار مبسط بالتجربة والخطأ . فعند إشعال القوس بشدة تيار معينة ولوحظ أن الإلكترود يتوهج بلون أحمر داكن بطول أكثر من 30 mm من الطرف فإن التيار يعتبر أشد من القيمة المناسبة .

وعند اختيار التيار وقطر الإلكترود المناسبين نلاحظ أن لهب القوس مستقر وهادئ ويعطى الجدول (1 - 231) القيم الإرشادية لقطر الإلكترود وشدة التيار لكل من الإلكترودات الكربونية والجرافيتية

جدول (1 - 231)

| شدة التيار A لإلكترود الجرافيت | شدة التيار A لإلكترود الكربون | قطر الإلكترود mm |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| 15 - 35 | 15 - 30 | 3 |
| 25 - 60 | 25 - 55 | 4,5 |
| 50 - 90 | 50 - 85 | 6 |
| 80 - 125 | 75 - 115 | 8 |
| 110 - 165 | 100 - 150 | 10 |

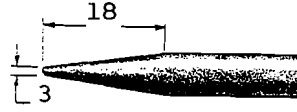
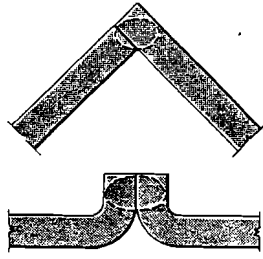
وتختار في هذا النوع من اللحام القطبية المباشرة (الإلكترود سالب) ولا تستخدم القطبية العكسية لأنها تبخر الكربون وتدفعه لبركة المنصهر فتتسبك مع الصلب وتصلده وتجعله قصيفا في منطقة اللحام . بجانب عدم استقرار القوس .

أما سلك الحشو فيكون تركيبه مطابقا للمعدن الأصلي . وفي لحام النحاس يستخدم سلك حشو من البرونز الفسفوري وفي كل الأحوال يختار قطر سلك الحشو مساويا لسلك المشغولة .

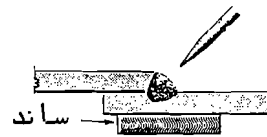
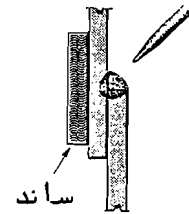
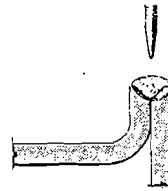
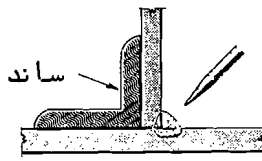
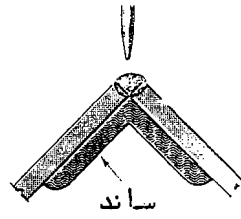
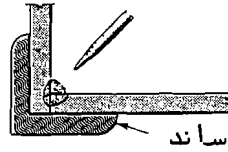
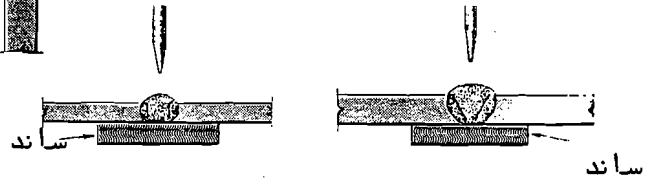
تجهيز أطراف الوصلات :

لا تحتاج أطراف الوصلات التي يقل سمكها عن ثلاثة مليمترات إلى شطبها (شطفها) بل تجهز كما في شكل (1 - 229) ولا يحتاج اللحام في هذه الحالة إلى سلك حشو . أما الوصلات التي تتجاوز هذا السمك فتجهز كما في شكل

(232 - 2) وباستخدام
سواند خلفية من النحاس
السميك أو من الصلب .

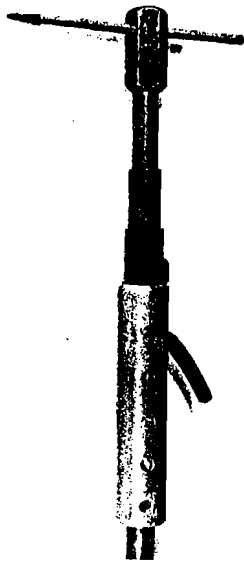


شكل (1 - 232)



ماسك الكترون الكربون

شكل (2 - 232)



وفى حالة لحام المعادن الرقيقة لا تترك ثغرة بين أطرافها أما التسي يتجاوز سمكها خمسة مليمترات فتترك ثغرة بعرض ثلاثة مليمترات. وقبل بدء اللحام تنظف أطراف الوصلة وتثبت الأطراف بعضها مع بعض بالتبسيط على مسافات تتراوح بين 200 mm و 250 mm ثم توضع الوصلة في الوضع الأفقى الأرضى (لا يمكن اللحام على المستوى الرأسى أو السقف) ثم يضبط طول الإلكترود بمقدار 75 mm بروزاً من طرف القبض (يحتاج الأمر لتعويض المستهلك من الطول من حين لآخر بالاستخدام) ثم تضبط مكنة اللحام على التيار المناسب وتجرى الاختبارات الأولية على قطعة من الخردة للتأكد من مناسبة التيار . ثم يبدأ القوس بلمس الإلكترود مع المشغولة وسحبـه ببطء كالمعتاد فى القوس المعدنى ويضبط طول القوس ليكون بين ثلاثة إلى أربعة مرات سمك المشغولة (للحام النحاس يبلغ طول القوس 25 mm . وعند انطفاء القوس لا يجوز إشعاله باللمس على المعدن الساخن فى موقع اللحام لأن ذلك يسبب تصلد موقع اللـمس لا متصاص الكربون به . يبدأ قوس جديد فى موقع مجاور على خط اللحام يكون بارداً . ويضاف سلك الحشو بالقدر الذى يغطى فجوة الوصلة . ويحتفظ بالإلكترود عمودياً على خط اللحام (يميل إلى الخلف قليلاً .)

اللحام بالتيار المتردد :

يمكن استخدام التيار المتردد لتوليد قوس بين الإلكترودين من الكربون وليس بين الإلكترود والمشغولة. أى أن هذه الطريقة تشبه طريقة توليد القوس فى اللحام بالهيدروجين الذرى وتختار شدة التيار لأقطار الإلكترودات التالية :

| شدة التيار A | قطر الإلكترود mm |
|--------------|------------------|
| 20 - 50 | 6 |
| 30 - 70 | 8 |
| 40 - 90 | 10 |

القطع بالقوس الكهربائي :

يألف فنّي اللحام أحيانا حدوث احتراق مخترق للألواح المطلوب لحامها . ومن ثم فإنه يمكن استخدام أى إلكترود لقطع المشغولات بزيادة شدة التيار عن الشدة المستخدمة فى اللحام حتى يتم احتراق مخترق يسرى على أساسه القطع . ويجب فى هذا الشأن التخلص من بركة المنصهر المتكونة . وتستخدم الإلكترودات العادية المستهلكة كما تستخدم إلكترودات الكربون فى عمليات القطع إلا أن القطع بالقوس لا يكون بجودة القطع بالأكسى أستلين من ناحية نعومة واستقامة السطح المقطوع .

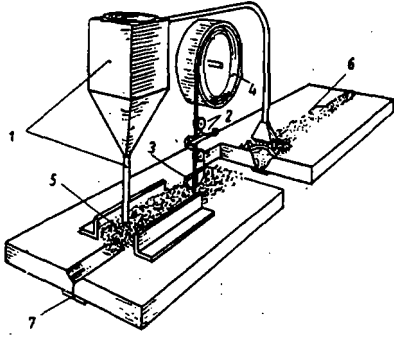
ويمكن من ناحية أخرى استخدام القوس الكهربائي المزود بالأكسجين أو الهواء المضغوط لأكسدة بركة المنصهر . ويصنع الإلكترود بشكل أنبوبى يمر من داخله الأكسجين أو الهواء إلى بركة المنصهر ليحرقها ويزيح الخبث المتكون وتكفى الحرارة المتولدة من الأكسدة بجانب الحرارة المتولدة أصلا من القوس للتخلص من الأكاسيد صعبة الانصهار . وقد فاقت هذه الطريقة من القطع بالأكسى هيدروجين تحت الماء وأصبحت تحل محلها فى كثير من الأحيان .

ويمكن قطع المعادن غير الحديدية مثل الألومنيوم والنحاس وسبائكهما بجانب حديد الزهر والصلب المقاوم للصدأ لثخانات تفوق عشرة مليمترات بصورة اقتصادية وخاصة إذا استخدم غاز الأرجون فى حالة الصلب المقاوم للصدأ وإذا مررتيار شديد من الغاز المتأين (المسمى بالبلازما) ووجه إلى خط القطع المنشود .

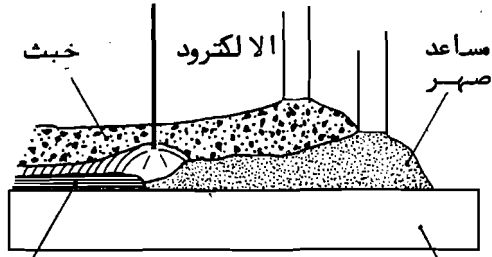
وإذا استخدم إلكترود الكربون فيستخدم تيار مستمر وقطبية عكسية (الإلكترود موجب) مع استخدام هواء تحت ضغط يتراوح بين 5 , 8 نيوتن / مم² . أما الإلكترود فيكون خليط من الكربون والجرافيت ويغلف الإلكترود بطبقة رقيقة من النحاس لضمان انتظام عرض القطع بالإضافة إلى إتاحة الفرصة لاستخدام شدة تيار مرتفعة تتراوح بين 75 , 150 A لقطر إلكترود 4 mm , 550 , 700 A لقطر إلكترود 16 mm .

يحتاج الأمر عند لحام القطاعات السميكة بالقوس الكهربائي المكشوف والإكترودات المكسوة أن تجرى بمسارات متعددة متتالية لملء فجوة الوصلة وهو أمر مكلف ماديا ويحتاج إلى مجهود في إزالة مخلفات الخبث المتجمد وتنظيف موقع اللحام بعد الانتهاء من كل مسار وقبل البدء في المسار الذي يليه ، ويتعذر من ناحية أخرى الارتفاع بشدة التيار في اللحام الأتوماتي لإمكان ترسيب كمية كبيرة من إكترود اللحام (سلك اللحام) في المسار الواحد بهدف الإقلال من عدد مسارات اللحام كما يصعب إنتاج درزة لحام مقبولة خالية من العيوب بهذه الطريقة مع شدة تيار مرتفعة وخاصة في اللحام الأفقي الأرضي وللتغلب على هذه الصعوبات تم التفكير في تغيير في وضع الوصلة بادي ذي بدء ليصبح في الاتجاه الرأسى الصاعد بما يشبه السباكة المستمرة ، وبهذا المفهوم أمكن التحول إلى الصب من الإكترود في فجوة اللحام بمعدلات مرتفعة وقد أمكن تحقيق ذلك إما بطريقة القوس الكهربائي المغمور تحت مساعد الصهر المنصهر أو بطريقة اللحام تحت الخبث الكهربائي .

، بالإضافة إلى عدم تناثر الشرر والشظى المألوف في القوس المكشوف .



- 1 - قاد وس المسحوق .
- 2 - تجهيزة تغذية السلك .
- 3 - مدخل التيار .
- 4 - ملف السلك .
- 5 - المسحوق . (236-1)
- 6 - الخبث .
- 7 - ساند المنصهر .



شكل (236-2)

المشغولة اتجاه حركة الألكترود اللحام

وتتيح هذه الطريقة إمكان استخدامها بصورة متصلة غير متقطعة على عكس ما هو حادث في اللحام بالقوس المكشوف والإلكترودات المكسوة ذات الأطوال المحدودة حيث تتوقف عملية اللحام عند تجديد الإلكترود .

وتتميز هذه الطريقة بجانب ما سبق بإمكان استخدامها شدة تيار مرتفعة تتراوح بين 200 ، 5000 A ، مما يترتب عليه التوصل إلى عمق تغلغل كبير للحام في مسار واحد بينما تبلغ شدة التيار في القوس المفتوح 400 A كحد أقصى ولو أن الاتجاه الحديث هو الاكتفاء بحدود 2000 A في القوس المغمر مع تعدد المسارات للاستفادة بميزة المعالجة الحرارية (بالمعادلة) للطبقات المترسبة من المسارات السابقة

بتأثير التسخين فى المسار الجديد لزيادة متانة الوصلة وتحريرها من الإجهادات الحرارية المتخلفة .

ويضاف مسحوق (أو مجروش) مساعد الصهر إلى الوصلة بنسب تقرب من كمية الكسوة الموجودة على إلكترودات القوس المكشوف ويتخلف من مصهور مسحوق مساعد الصهر طبقة خبث زجاجية المظهر تبدو تحتها درزة اللحام فى خط منتظم أملس خال من التجمعات وذلك لبطء معدل التبريد بسبب تخزين قدر كبير من الحرارة ويمكن إعادة الاستفادة بمسحوق مساعد الصهر الذى لم ينصهر .

وتشبه هذه الطريقة فى معالمتها الرئيسية طريقة اللحام بالقوس الكهربائى بالإلكترود المعدنى والغاز الخامل MIG حتى أنه يمكن استخدام أية وحدة لحام بطريقة MIG وتيار مستمر مع بعض التعديلات البسيطة التى تتركز فى إضافة قادوس لصب مسحوق مساعد الصهر بدلاً من الغاز الخامل الذى يحيط بالإلكترود .

وقد ساد الاعتقاد إلى عهد قريب أن توليد الحرارة يتم فى هذه الطريقة بالمقاومة الكهربائية بمرور التيار خلال طبقة الخبث المنصهر (الطافى فوق مصهور مساعد الصهر) لما لهذا الخبث المنصهر من خواص إلكتروليزية موصلة للتيار الكهربائى . إلا أن الأبحاث الأخيرة أظهرت من خلال تسجيلات الجهد الكهربائى للعملية معالم تولد الحرارة الذى يتم بأسلوب حدوث قصر الدائرة الكهربائية وظهور قمم للجهد عند إعادة الإشعال وهى من معالم القوس الكهربائى الحقيقى .

ويمكن أن يتم اللحام بالقوس الكهربائى المغمور بصورة أوتوماتيكية حيث تتاح الفرصة لتحريك حامل الإلكترود (ملف سلك اللحام) على خط اللحام أوتوماتياً وبسرعة يمكن التحكم فيها بجانب تغذية مستمرة للإلكترود (سلك الحشو) فى اتجاه محوره أو تتم بصورة شبه أوتوماتية Semi Automatic يغذى فيها السلك أوتوماتياً ويحرك يدوياً وفى كلا الطريقتين يستخدم سلك إلكترود عار (غير مكسو) لكنه مطلى بالنحاس لحمايته من الصدأ بالتخزين ويتركب أساساً من صلب به $C \ 0,12 \% + Mn \ 1,80 \% + Si \ 0,15 \%$ ويجهز

مساعدة الصهر المستخدم بتجميع حبيبات مسحوق بالخلط بمادة مائية رابطة كالزجاج المائي (سليكات الصوديوم) بهدف إنتاج مجروش بحبيبات قطرها عدة مليمترات مصنوعة من المسحوق ثم يجفف المجروش عند درجة حرارة 800°C . أما الأنواع الملبدة من مساعدا الصهر فيتم تليدها عند درجة حرارة تحت درجة حرارة انصهار أقل العناصر المكونة في درجة انصهارها . ولكي يصهر مساعدا الصهر يجب تسخينه إلى درجة حرارة عالية لتحليل الكربونات والمعادن الأخرى وعلى ذلك فتصنع مساعدا الصهر القاعدية المحتوية على كربونات بإحدى الطرق الأخرى كعملية التجميع Agglomeration .

وفي أثناء عملية اللحام ينصهر مجروش مساعدا الصهر ليغطي بركة اللحام وجزيئات المعدن المنتقلة من الإلكترود إلى البركة ويتم التفاعل أساساً بين معدن الوصلة وبين السليكون والمنجنيز الموجودين في مساعدا الصهر وهي العناصر التي تلعب الدور الرئيسي في التحكم في جودة وسلامة وصلة اللحام وإكسابها مقاومة إجهادات مرتفعة .

ويتوقف نجاح عملية اللحام بالقوس المغمور وسلامة درزته إلى حد كبير على تركيب مسحوق (مجروش) مساعدا الصهر والذي يجب أن تتوفر فيه الخواص التالية :

- * العمل على استقرار القوس من خلال احتوائه على عناصر سهلة التأين كالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم .
- * وقاية بركة اللحام من أكسدة الهواء الجوي من خلال انتاج خبث ملتصق يمنع نفاذ الهواء .
- * المساعدة على تحسين شكل حدة درزة اللحام بخواص لزوجه وشدة السطحي .
- * تحقيق التحكم في تركيب العناصر في الدرزة من خلال تعويض الاحتراق لعناصر التسابك في الوصلة وسلك اللحام .
- * منع الفقاعات وتكوين الشروخ من خلال احتوائه على عناصر تتحد مع الهيدروجين واحتوائه على نسبة مرتفعة من المنجنيز

- لتجنب التشرخ على الساخن بسبب ارتفاع نسبة الكبريت .
- * تجنب التناثر وفقد الحرارة المتولدة من خلال إنتاج طبقة خبث مغطية كافة السمك .
- * سهولة إزالة طبقة الخبث المتجمد فوق درزة اللحام من خلال وجود عناصر مختزلة في المسحوق .

ويوضح الجدول التالي (1 - 239) التركيب الكيميائي لبعض أنواع المساحيق (أو المجروش) المستخدمة في القوس الكهربائي المغمور .

جدول (1 - 239)

| رتبة مساعد الصهر | 50 % | 80 % | 70 % | 20 % |
|--------------------------------|------|------|------|------|
| CaO | 5 | 24 | 28 | 27 |
| C F ₂ | 5 | 5 | - | - |
| Mg O | - | 12 | 6,5 | 7,5 |
| Si O ₂ | 41 | 38 | 48 | 53 |
| Al ₂ O ₃ | 2,5 | 13 | 5 | 5 |
| Mn O | 0,75 | 7,5 | 10 | - |
| Mn O ₂ | 39 | - | - | - |
| معدن الدرزة (اللحمة) | | | | |
| C | 0,12 | 0,11 | 0,12 | 1,2 |
| Mn | 1,05 | 1,10 | 1,00 | 0,7 |
| Si | 0,25 | 0,30 | 0,37 | 0,4 |

وتتصف مساعدات الصهر الحامضية المحتوية علي نسبة عالية من السليكا بضعف متانتها وأنها تميل إلى نقل الأكسجين للحام على عكس الأنواع القاعدية التي تميل إلى تنظيف اللحام وتمنع

احتوائه على متضمنات غير معدنية وبالتالي ارتفاع متانتها ويمكن حساب درجة القاعدية لمساعدة الصهر بالمعايير التالية :

$$\text{معايير القاعدية} = \frac{\text{CaO} + \text{CaF}_2 + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \frac{1}{2} (\text{MnO} + \text{FeO})}{\text{SiO}_2 + \frac{1}{2} (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2)}$$

Basicity Index (Bi) =

وهذه العلاقة أساسا تجريبية ويمكن استخدامها لأنواع محدودة من مساعدات الصهر .

وقد أمكن من ناحية أخرى تصنيف أنواع مساعدات الصهر بواسطة المعهد الدولي للحام IIW حسب الجدول التالي (1 - 240)

جدول تصنيف مساعدات الصهر (1-240)

| الرمز | العناصر الرئيسية | التسمية |
|-------|---|-----------------|
| CS | $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 > 50 \%$ | سليكات كالسيوم |
| MS | $\text{MnO} + \text{SiO}_2 > 50 \%$ | سليكات منغنسيوم |
| AR | $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 > 45 \%$ | ألومينات روتايل |
| AB | $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} > 45\%$ ($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 20\%$) | ألومينات قاعدية |
| BF | $\text{Ca} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{CaF}_2 > 50 \%$ $\text{SiO}_2 \leq 20 \%$ | فلوريدات قاعدية |

ويجب أن يستخدم سلك لحام فقير الكربون بنسب كربون تتراوح بين % 0,06 ، % 0,14 لينتج نسبة كربون فـى درزة اللحام تبلغ نحو % 80 من نسبته فى المعدن الأصلي للمشغولة لإكسابه متانة عالية أما السليكون فيتراوح بين % 0,05 ، % 0,25 ليقوم بتجميد بركة المنصهر وزيادة قابلية الوصلة للتشكيل . أما المنجنيز فيكون مرتفعاً نسبياً لتجنب تكون التشرخ على الساخن والفقاقيع فى الدرزة ويتراوح نسبته بين % 0,5 ، % 3,20 وتبقى نسبة الفسفور والكبريت المقبولة فى الصلب المعتاد .

وتلعب نسبة المنجنيز إلى السليكون دوراً هاماً فى التحكم فى قابلية التشكيل للوصلة ومتانة الصدمة وتكون فقاعات أو مسام فى الدرزة وتقع النسبة بين هذين العنصرين بين $\frac{Mn}{Si} = 1,5 - 3,0$

ويمكن بصفة عامة لحام أنواع الصلب التالية بالقوس المغمور .

أولاً : صلب المنشآت :

St00, St34, St37, St42, St52, St50, St60, St70,

ثانياً : المراحل DIN 17155

HI , HII, HIII, HIV, 19 M5

ثالثاً : صلب الأنابيب DIN 1629 , DIN 17175

St 35.29 , St 35.8 , St 45.29 , St 45.8 St 55.29

رابعاً : الصلب القابل للتصليد DIN 17200

C 22 , C 35 , C 45 , C 60

خامسا : صلب السفن DIN 17210

C 10 , C 15

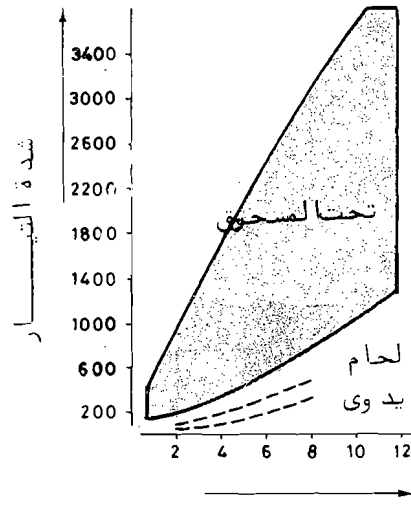
سادسا : مسبوكات الصلب

Stg 38.81 , Stg 45.81 , Stg 52.81 , Stg 60.81

ويوضح الجدول التالي أهم معالم وحدود استخدام القوس الكهربائي
المغمور

| | | | | |
|-----------------------|-----|-----|----|-----------------------------------|
| 5000 A | إلى | 100 | من | شدة التيار الكهربائي |
| 70 V | إلى | 20 | من | الجهد الكهربائي |
| 300 m/h | إلى | 10 | من | سرعة اللحام |
| 200 A/mm ² | إلى | 20 | من | كثافة التيار الكهربائي |
| 120 mm | إلى | 0,5 | من | عمق حفرة الاحتراق |
| 12 mm | إلى | 0,8 | من | قطر إلكترود (سلك) اللحام |
| 100 Kg/h | إلى | 1 | من | معدل الانصهار (الترسيب في الوصلة |

ويوضح الرسم البياني التالي حدود علاقة شدة التيار الكهربائي وقطر الإلكترود المستخدم في كل من طريقتي اللحام بالقوس الكهربائي المفتوح والقوس الكهربائي المغمور للمقارنة
شكل (1 - 242) وقد تطورت طريقة اللحام بالقوس المغمور منذ ابتكارها حتى الآن بحيث أصبح من الممكن استخدامها في جميع أوضاع اللحام . ولسمك كبير للمشغولات وخاصة تلك التي تتطلب جودة متميزة في دزة اللحام



قطر الالكترود مم

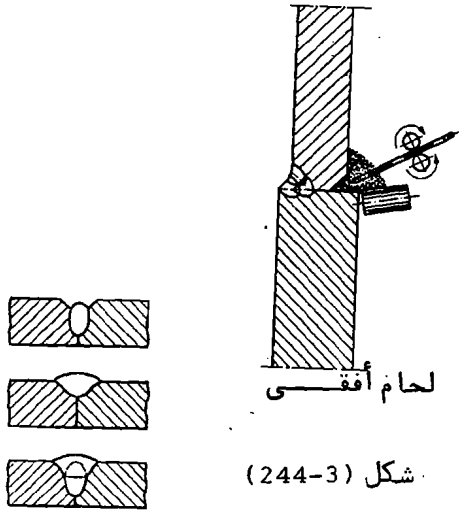
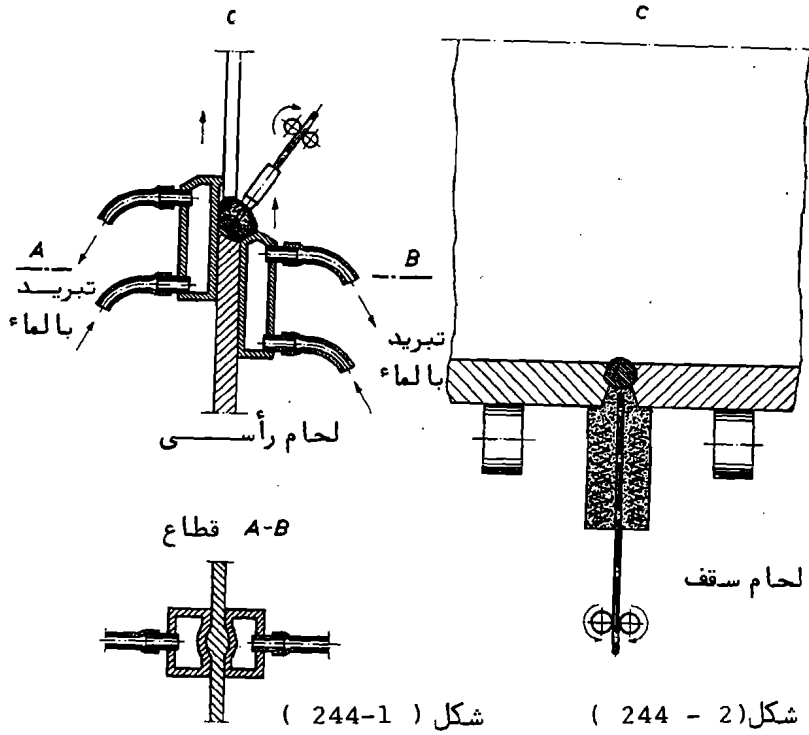
شكل (1-243)

مثل أوعية الضغط والأنابيب
الناقلة للموائع تحت ضغوط
مرتفعة ويوضح الشكل
التالي (1, 2, 3 - 243)
أسلوب اللحام في خط
أفقي على مستور رأسى
واللحام السقفى

ومن بين أوضاع اللحام
المختلفة تتميز طريقة
اللحام الأفقى الأرضى
باقتصادياتها وقد أمكن على
هذا الأساس تطوير اللحام
في هذا الوضع لانتاج
القطاعات (الكمرات) والأنابيب
بأسلوب سريع باستخدام
الإلكترودين (سلكي حشو)
أحد هما يتقدم الآخر ويتقدمان
في وقت واحد وبرأس حامل
واحدة لملء فجوة وصلة
(خط) اللحام ويتصل كل

إلكترود في هذه الحالة بمصدر دائرة كهربائية منفصلة عن الآخر
وبالتالي يتيسر زيادة معدل التريب في الوصلة .

كما أمكن من ناحية أخرى استخدام إلكترودين (سلكين) متجاورين
يولدان قوساً مشتركاً ويصبان في بركة منصهر واحدة ومن أهم مميزات
هذا الأسلوب هو ضمان عدم اختراق بركة المنصهر الذي قد يحدث
في حالة استخدام إلكترود منفرد ومن ثم يتحقق انتظام الصهر
على طول خط اللحام .

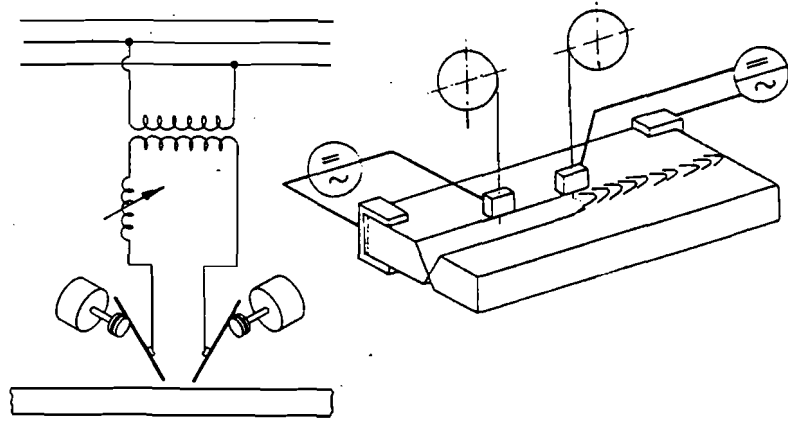


شکل (244-4)

ويوضح شكل (4 - 262) خط اللحام بالقوس المغمور الناتج عن الإلكترود الأول المتقدم وكذلك خط اللحام الناتج عن الإلكترود الثاني المتخلف ثم شكل د رزة اللحام بالإلكترودين معا .

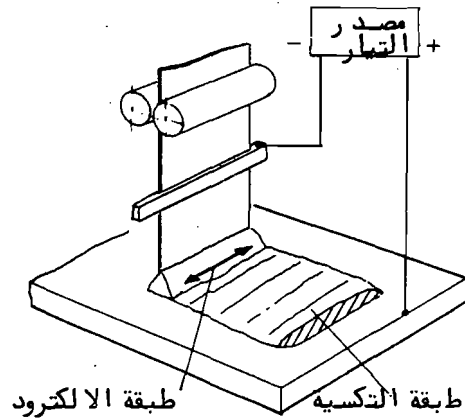
وفي هذا السبيل من التطوير يمكن كذلك استخدام رأسين منفصلين حاملين للإلكترودين ، وتحدد المسافة بين الرأس الأول والثانية بحيث تقع الرأس المتخلفة

عند نقطة نهاية التجمد لبركة اللحام الناتجة من الرأس
(الالكترود) (المتقدمة شكل (1 - 263))



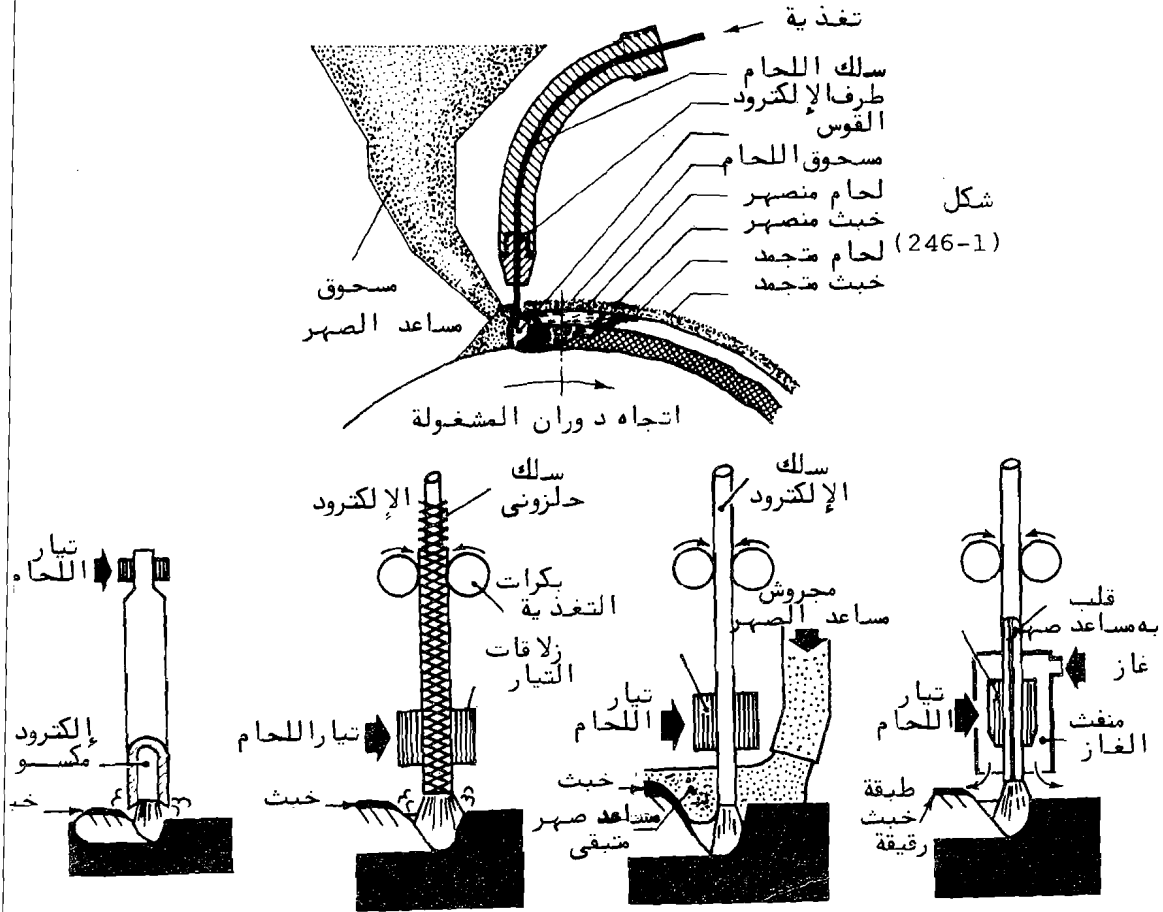
شكل (1 - 245)

وفى عمليات تجديد الأسطح البالية (بالبرى) بإعادة تكسيتهها
بطبقة جديدة يمكن أن يستخدم القوس الكهربائي المغمور مع
مع استخدام إلكترود ليس فى شكل سلك بل فى شكل شريط رقيق عريض
مع استخدام تيار مستمر قطبية مباشرة شكل (2 - 263) بدلا من
الإلكترودات (أو الأسلاك) المتعددة .



شكل (2 - 245)

وقد تستخدم وسائل أخرى لزيادة معدل الترسيب في فجوة اللحام وذلك على سبيل المثال بإضافة مسحوق معدن بجوار مسحوق مساعد الصهر ولا يتصل مسحوق المعدن المضطاف بدائرة الإلكترود الكهربائية شكل (2 - 263)



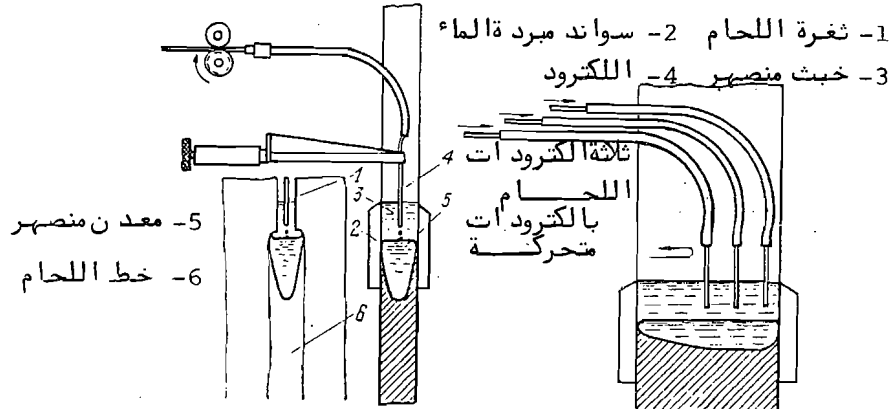
شكل (1-246) عرض لطرق اللحام المختلفة بالقوس المفتوح والمغمور

اللحام بالخبث الكهربائي Electro-Slag Welding :

تعتبر طريقة اللحام تحت الخبث الكهربائي تطويراً لطريقة اللحام بالقوس الكهربائي المغمور ، وهى تشبهها فى معظم معالمها إلا أن مبدأ توليد الحرارة فى اللحام بالخبث الكهربائي يختلف تماماً عن مبدأ توليد القوس الكهربائي المغمور . فبينما تتولد الحرارة فى القوس المغمور من خلال توليد قوس (تفريغ كهربائي فى وسط مساعد الصهر المتأين) كهربائي حقيقى ، تتولد الحرارة فى طريقة الخبث الكهربائي من خلال مرور تيار كهربائي خلال الخبث المنصهر والتغلب على مقاومته .

وفى طريقة اللحام بالخبث الكهربائي توضع الوصلة متناكبة الطرفين فى وضع رأسى ويغلق الجانبان بحاجزين من النحاس المبرد بالماء أما القاع فيسد بلوح من الصلب السميك يشغل عليه قوس كهربائي بينه وبين إلكترود عند بدء اللحام ويستمر القوس حتى ينصهر قدر كاف من الخبث الذى يتولى توليد الحرارة وتحتوى الفجوة المتكونة (عند طرفى الوصلة) فى قاعها على المعدن المنصهر (من طرفى الوصلة والإلكترود) يطفو فوقه طبقة سميكة من الخبث المنصهر ينغمس فيها الإلكترود (وهو فى نفس الوقت سالك الحشو) حاملاً للتيار الذى يمر خلال الخبث ويولد الحرارة اللازمة للمحافظة على درجة حرارة انصهار المعدن الأصلي للوصلة وكذلك معدن الإلكترود لإمكان صهرهما

شكل (247-1) (249-1)

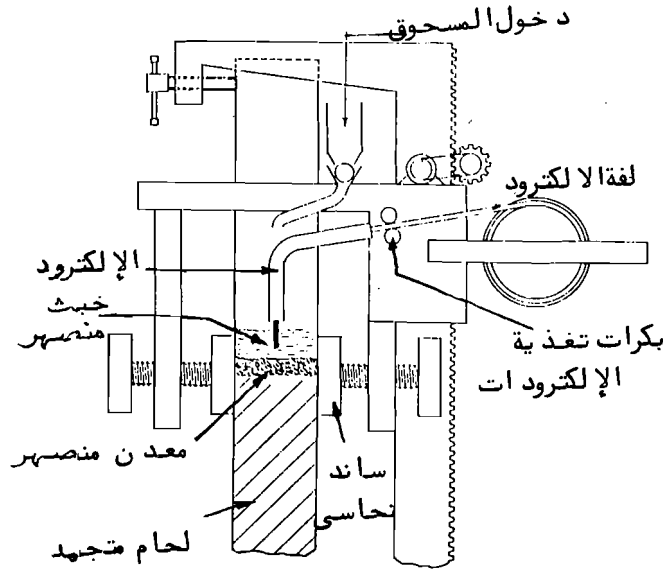


شكل (247-1)

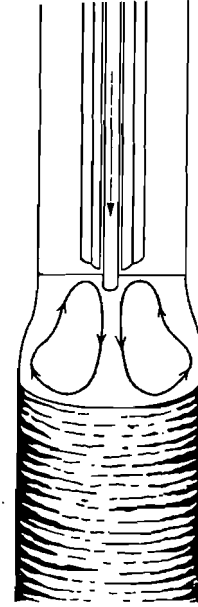
شكل (247-2)

ويمكن إطلاق اسم الخبث الكهربائي على هذه الطريقة من اللحام فى أهمية الخبث والأدوار الأساسية التى يلعبها فى عملية اللحام وهى أن مصهور الخبث موصل للكهرباء ولذلك فهو يقوم بتوليد الحرارة اللازمة للحام من خلال مقاومته الكهربائية. وهو ثانياً يقوم بعزل الحمام المعدنى المنصهر تحته من الهواء الجوى ومن ثم وقايته من الأكسدة. وثالثاً: ينشأ تفاعل بين مصهور الخبث ومصهور المعدن تحته فلما كان الخبث يتحلل إلى أنواع عديدة من الكاتيونات والأنيونات وأهمها من مكونات سليكات المنجنيز وتسلك بدورها مسلك الإلكتروليت المائى الموجود بين جهد الكهربائى فى خلية ما وتكون نتيجة التفاعل تنقية مصهور المعدن الذى هو فى الحقيقة المكون الرئيسى لحجم رزة اللحام (خط اللحام) بعد التجمد وهى عملية تحاكى ما يحدث فى عملية تنقية الصلب بالصهر تحت الخبث المصهور Electro slag remelting process ويسرى على هذا الأساس فى عملية اللحام بهذه الطريقة ما يسرى على التفاعلات التى تتم فى عملية تنقية الصلب تماماً . ولذلك تتميز هذه الطريقة من اللحام بخواصها الميكانيكية المتميزة .

وكما يمكن بهذه الطريقة لحام القطاعات السمكة التى يبلغ سمكها نحو 100 mm بل قد يصل فى بعض الأحيان إلى 500 mm فإنه يمكن لحام الألواح الرقيقة نسبياً (25 mm) بالإلكترود (سلك حشو) وحيد متمركز فى وسط الفجوة والحصول على لحام منتظم ودقيق . إلا أنه عند زيادة السمك عن هذا القدر فإن الأمر يحتاج إلى تحريك الإلكترود (سلك الحشو) حركة بندولية بجانب التغذية الطولية المعوضة لما ينصهر منه وتهدف الحركة البندولية إلى مجانسة الصهر خلال فجوة اللحام أما إذا تجاوز سمك الوصلة 100 mm فيستخدم أكثر من إلكترود لملاحقة معدل الصهر المرتفع المطلوب لملء فجوة اللحام فى زمن مقبول والذى يبلغ متوسطه متر / ساعة (فى اتجاه الوصلة ارتفاع الوصلة) شكل (2-247)



شكل (249-1)



شكل (249-2)

وتتصف مكونات الخبث بارتفاع درجة الحرارة وتستمر هذه الزيادة إلى حد ما تستقر عنده حينما تتساوى الحرارة المتولدة مع المستهلكة في الصهر . وكما هو الحال في حالة اللحام بالقوس الكهربائي الذي يحدث به تفريغ كهربائي أي تدفق تيار شديد من الإلكترونات في جسم القوس فإن مرور التيار في الخبث المنصهر يدفع الخبث إلى حركة دوامية مضطربة مستمرة ينشأ عنه تكوين حفرة ضحلة تحت الإلكترود وتؤدي هذه الحركة الدوامية إلى اختلاط مصهور الإلكترود بمصهور طرفي الوصلة وتغيير تركيب عناصرها بصورة متجانسة .

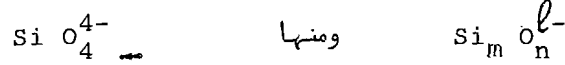
شكل (249-2)

ولبدء اللحام بطريقة الخبث الكهربائي يجب أن يسد قاع فجوة الوصلة بلوح مقعر السطح ثم يقدر قوس كهربائي بين الإلكترود المتدلي في الفجوة وسطح اللوح باللمس مع إضافة قدر من مساعد الصهر وبمجرد ارتفاع درجة الحرارة بعض الشيء يضاف كمية إضافية من مساعد الصهر والخبث المنصهر الذي يتولى بدورها خمد القوس ويعاد قدحه مرة أخرى بمجرد مس الإلكترود بسطح القاع وبعض مضي عدة دورات من هذه الومضات يبدأ الخبث بالقيام بمهمته بتوصيل التيار الكهربائي عبره ويبدأ توليد الحرارة الكافية لصرف طرف الإلكترود

وجوانب طرفى الوصلة . أى أنه فى البداية يجب أن تهيأ الظروف لعمل قوس كهربائى معتاد إلا أنه بمجرد تكون قدر كاف من الخبث المنصهر وتوليد الحرارة عن طريق مرور التيار من خلاله يجب تجنب حدوث أى قوس .

اختيار نوعية التيار المناسب وعلاقته بالتفاعلات الميتالورجية مع الخبث:

إنه كما سبق التنويه إليه يتوقف اللحام بالخبث الكهربائى على مرور تيار كهربائى خلال منصهر الخبث معتمداً على خاصيته الإلكتروليتية وهى الظاهرة المعروفة فى اللحام بالتيار المستمر . فالخبث يتكون من أيونات موجبة (كاتيونات) مثل كاتيونات الكالسيوم والمغنسيوم والحديد والمنجنيز ، وأيونات سالبة (أنيونات) مثل أكسيد الحديد والفلورين والكبريت (والأكسجين مع مركبات مع السليكون والألومنيوم والفسفور والحديد وغيرها) فالسليكات الموجودة فى خبث اللحام على سبيل المثال تكون أنيونات سليكون - أكسجين



وعند ما يمر تيار مستمر فى الخبث المنصهر فإنه يحوله إلى إلكتروليت (محلول كهربائى موصل) وتترسب العناصر المكونة على الإلكترود مثل الحديد والمنجنيز كما تنبعث الغازات عند الإلكترود . أما أنيونات السليكون والأكسجين فتفرغ شحنتها عند ما تقترب من الإلكترود كنتيجة لذلك يثرى المصعد (الأنود) بالسليكا ويتصاعد الأكسجين عند الأنود لتفاعل بعنف مع معدن الإلكترود ويكون لهذه التفاعلات تأثير شديد على التفاعلات المتالورجية فى اللحام بالخبث الكهربائى وأهم النتائج فى هذا المجال التفاعلات الخاصة بالمنجنيز والسليكون فيتأكسد المنجنيز وينضم إلى الخبث فى حالة استخدام التيار المستمر بقطبية عكسية (الإلكترود موجب) بدرجة أكبر من القطبية المباشرة وسبب ذلك أنه فى حالة القطبية العكسية يكون الإلكترود مصعداً (أنود)

فيتدفق أكسجين أكثر - بسبب التوصيلية (إلكترولية) - إلى سطح قطرة المعدن المتدفقة من طرف الإلكترود ويتفاعل الأكسجين مع معدن الإلكترود وبهذه تهيأ أفضل الظروف للأكسجين للتفاعل مع معظم السطح المشكل لقطرات المعدن المنصهر فيتأكسد كل من المنجنيز والكربون بدرجة كبيرة .

أما في حالة القطبية المباشرة فإن الإلكترود يصبح مهبطاً (كاثود) فتتركز أيونات المنجنيز الموجودة في الخبث حول القطرات وتمنع الأكسدة وانتقال المنجنيز من قطرات المعدن إلى الخبث بينما يسهل انتقال بعض العناصر الأخرى مثل الكروم إن وجد في الإلكترود إلى الخبث وفي هذه الحالة يتدفق الأكسجين إلى بركة المنصهر والتي تصبح مصعداً (أنود) وكلما كان شكل القطرات المتكونة في الإلكترود أقرب إلى شكل الكرة (أكبر حجم لأصغر مساحة سطحية) فإن الفرصة تقل لأكسدة كل من الكربون والمنجنيز بهذه القطبية على عكس القطبية العكسية أو حتى في حالة استخدام التيار المتردد (تقع حالة التيار المتردد بين القطبية المباشرة والقطبية العكسية) .

أما السليكون الذي يوجد في خبث اللحام في صورة أنيونات فيثري الأنيوليت (المنصهر المجاور للمصعد) بالسليكا الأمر الذي يعوق عملية تأكسد السليكون .

ويتوقف حجم قطرات المنصهر على نوع التيار المستخدم فتكون أكبر في حالة التيار المستمر بقطبية مباشرة عن القطبية العكسية وتكون أكبر ما يمكن في حالة التيار المتردد .

وبتراوح جهد التيار الكهربائي المستخدم بين 15 V — للمشغولات دون سمك 25 mm أما ما يفوق ذلك فيزيد الجهد حتى يصل أقصى جهد إلى 50 V . أما شدة التيار فتتراوح من الناحية العملية بين 150 A ، 2000 A حسب قطر الإلكترود وعمق بركة المنصهر ومعدل صهر الإلكترود المطلوب لملء فجوة الوصلة في فترة معينة .

تركيب مساعد الصهر :

يجب أن يتصف الخبث بخواص توصيلة كهربائية ولزوجة مناسبة . إذ أن الاقلال من اللزوجة يتيح فرصة للتسرب من الحواجز المعدنية الجانبية المبردة والتي تتحرك صعوداً باضطراب مع زيادة ارتفاع المعدن المترسب المتجمد منه والمنصهر وطبقة الخبث (التي يتراوح سمكها في المعتاد بين 40 , 60 mm) أما اللزوجة المرتفعة فتؤدي إلى خشونة سطح المعدن المتجمد في فجوة الوصلة . كما يجب تجنب استخدام خبث ذي تلاصقية مرتفعة ويتشابه تركيب مساعد الصهر في اللحام بالخبث الكهربائي مع ذلك المستخدم في القوس المغمور مع احتواء الأول على قدر أكبر من الفلوريدات التي تقلل اللزوجة وتزيد التوصيلية الكهربائية للخبث المنصهر ويوضح الجدول التالي (1 - 252) حدود تركيب مساعد الصهر الذي يصلح للحام أنواع الصلب الكربوني .

جدول (1-251)

| MnO_2 | Al_2O_3 | SiO_2 | MgO | CaF_2 | CaO |
|---------|-----------|---------|-------|---------|-------|
| 21-25 | 11-15 | 33-36 | 5-7 | 13-19 | 4-7 |

معدن إلكتروادات اللحام (سلك الحشو) :

يتشابه تركيب معدن إلكتروادات اللحام بالخبث الكهربائي مع الإلكترونيات بالقوس المغمور . كما يستخدم منها أنواع محشوة من داخلها بمساعد الصهر وعادة ما تحتوى تزود إلكتروادات المنجنيز والسليكون للحام لمنع تفاعل الكربون مع أكسيد الحديد وتوليد غاز أول أكسيد الكربون الذي ينتج المسامية في اللحام .

والحصول على بنية جيدة للحام يجب التحكم فى سرعة اللحام بالنسبة لأبعاد فجوة اللحام وقابلية المعدن المترسب فى اللحام للتشريح مثال ذلك فى حالة لحام الصلب اللدن يكون عرض اللحام مساوياً نحو نصف عمقه (تكون النسبة عادة $\frac{1.5}{4}$) بمعنى أن سرعة اللحام المناسبة للوح سمكة 75 mm تكون 1 m/h .

اللحام الكهروغازى Electro - Gas Welding :

تشبه هذه الطريقة من اللحام سالفتها اللحام بالخبث الكهربائى على وجه التقريب إلا أنه فى اللحام الكهروغازى تستخدم إلكترودات محشوة بمساعد الصهر ويتولد قوس كهربائى مفتوح بينه وبين بركة المعدن المنصهر فى أسفل فجوة الوصلة ويتخلف عن مساعد الصهر طبقة رقيقة من الخبث واقية على سطح بركة المنصهر ولكنها ليست بالعمق الذى يجعلها تغمر القوس بالإضافة إلى وقاية هذه الطبقة من الخبث يمرر غاز واق إضافى مثل ثانى أكسيد الكربون أو الأرجون فوق البركة المنصهرة .

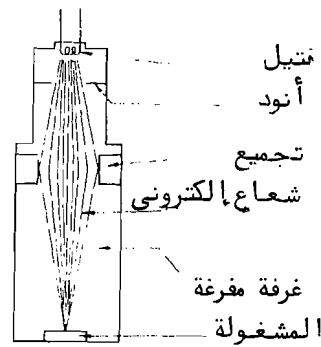
وتستخدم هذه الطريقة للحامات محدودة السمك مقارنة بطريقتى اللحام بالقوس المغمور والخبث الكهربائى فتكون حدود السمك بين 10 - 75 mm والتي تستخدم فى غالب الأحيان فى صناعة السفن والخزانات والأوعية . إذ أنها تتميز بسرعتها نسبياً .

اللحام بالشعاع الإلكتروني Electron Beam Welding :

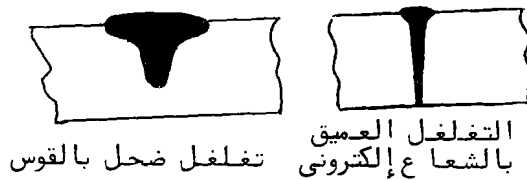
نعلم أنه في توليد الأشعة السينية X - Ray (أشعة Röntgen) بقذف الإلكترونات المتحررة من فتيل التنجستن الكاثود بعد دفعها نحو الأنود بجهد كهربائي مرتفع يصل إلى 200 KV تنبعث الأشعة من الأنود وفي نفس الوقت تتولد حرارة شديدة فيه الأمر الذي يحتم ضرورة تبريده بشدة إذ أن الحرارة المتولدة تعادل نحو 93 % من الطاقة الكلية بينما يتحول 7 % فقط إلى أشعة سينية ومن هذا المنطلق بدأ التفكير في أواخر الخمسينات من هذا القرن في الاستفادة بهذه الحرارة في اللحام وقد تم تسجيل هذا الابتكار الفرنسي الأصل لأول مرة عام 1957 . ويشبه جهاز توليد الحرارة في المشغولة للحامها جهاز الأشعة السينية تماما في كونه يحتوى على غرفة مفرغة (لحماية فتيل الكاثود المصنوع من التنجستن أو التنتاليوم من الاحتراق إذا سخن في جوفه أكسجين) ويسخن الكاثود (المهبط) بمصدر كهربائي (محول للتيار) ثم تدفع الإلكترونات المتحررة من الكاثود بجهد كهربائي مرتفع يعادل 150 - 200 KV إلى الأنود (المصعد) الذي هو في هذه الحالة المشغولة فقط تركيز الحزمة الإلكترونية المنبعثة من الكاثود باستخدام عدسة إلكترومغناطيسية لامة (مجمعة) لتصطدم بالمشغولة في بقعة ضيقة لتركيز الحرارة المتولدة عندها وتسمى هذه الطريقة المعجل للمشغولة Work accelerated وقد عدلت هذه الطريقة إلى طريقة المعجل الذاتى Self accelerated وهى الشائعة الآن بأن يوضع لوح معدنى مثقوب فى وسطه بالقرب من فتيل الكاثود ويعطى هذا اللوح المثقوب الجهد الكهربائى المرتفع الموجب ليصبح هو الأنود (المصعد) فتجذب الإلكترونات المنبعثة من الكاثود إلى اللوح إلا أنها تنفذ من خلال الثقب فى اللوح بسبب اندفاعها بطاقة حركتها التى اكتسبتها وتستمر فى اندفاعها بعد تجاوز الثقب فى شكل حزمة أشعة منفرجة يتم تجميعه بعد ذلك إلكتروناتيا أو مغناطيسيا بواسطة ملف يغذى بتيار كهربائى إضافى

يمكن التحكم فيه فيجمع الأشعة المنفرجة ويجعلها حزمة من الأشعة الإلكترونية المتجمعة (يحاكي الملف العدسة المجمعة للأشعة) فتتركز الأشعة في بقعة صغيرة ضيقة عند المشغولة (التي لا تتصل في هذه الحالة بأي جهد كهربائي) شكل (1 - 255) ويمكن التحكم في درجة تجميع الأشعة ومن ثم بعد البؤرة بتغيير تيار ملف التجميع . وتشبه هذه التجهيزة السمام بالمدفع الإلكتروني تشبه في مبدئها أنبوبة شاشة التلفزيون والميكروسكوب الإلكتروني .

ومن خلال تركيز حزمة الأشعة يمكن حصر التسخين في المشغولة في بقعة صغيرة القطر يتراوح بين 2,5 ، 0,1 mm . ومن البديهي أن اصطدام حزمة الأشعة بالمشغولة يولد بجانب الحرارة أشعة سينية يجب حجب تسربها خارج الجهاز لحماية العاملين بجهاز اللحام باستخدام ألواح الرصاص أو المعادن الأخرى لمنع تسرب الأشعة .



شكل (1-255)



شكل (2-255)

وتتميز طريقة اللحام هذه في المقام الأول بتركيز منطقة الصهر. وعمق التغلغل شكل (2 - 255) وإجراء اللحام في جو مفرغ وبالتالي ليس فقط المحافظة على نظافة الوصلة ومنعها من التأكسد بل تحلل الأكاسيد بالتفريغ وارتفاع درجة الحرارة وبالتالي يتم تنظيف ذاتي وشامل للوصلة ولما كانت المنطقة المنصهرة محدودة المساحة وعميقة التغلغل فإن ذلك يميز الوصلة بجودتها

ومقاومتها المرتفعة للإجهادات بسبب ضيق المنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) .

وتتعدد وحدات توليد الأشعة الإلكترونية اللازمة للحام فى أنواعها إلا أنه يمكن حصرها فى نوعين رئيسيين الأول شكل (1 - 256) المسمى بنوع بيرس Pierce وهو يشبه الصمام الإلكتروني الثنائى دايود فى سلوكه بعلاقة شدة وجهد التيار المعجل للإلكترونات وهى علاقة على النحو التالى :

$$I = C \sqrt{V^3}$$

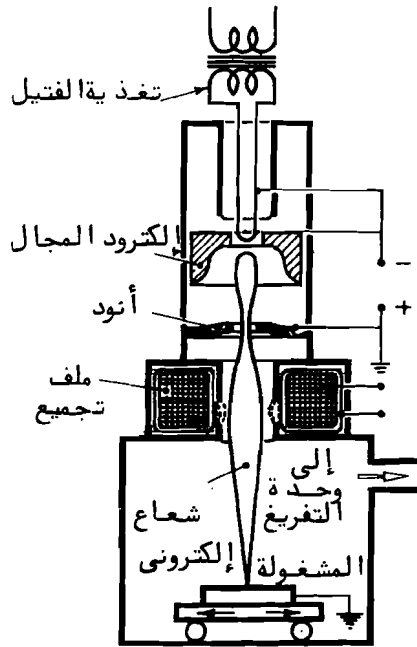
وهذا النوع من الوحدات يتيح إمكانية تغيير المسافة بين الكاثود والأنود فيتغير تيار الشعاع الإلكتروني وانفراجه .

أما النوع الثانى فهو يماثل الصمام الثلاثى Triode thermionic valve

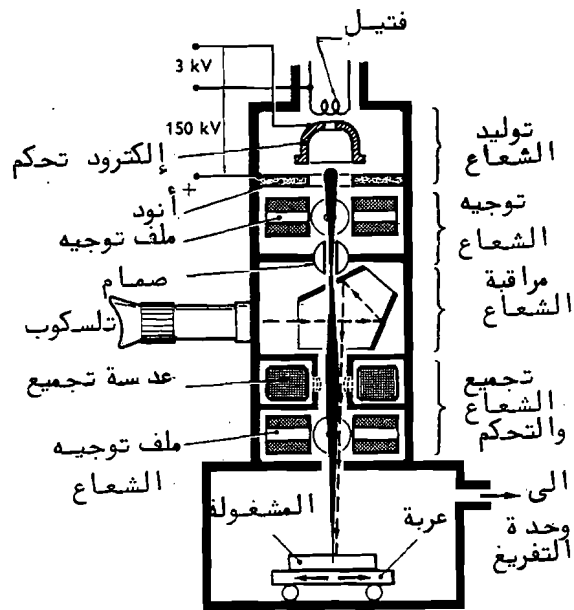
وفيه يتم التحكم فى تيار الشعاع الإلكتروني بالكثود متصل بجهد انحياز سالب biased وهو على شكل قدح شكل (1 - 257) وهذا الجهد يتغير من 0 إلى 1000 V

وهذا الإلكترونيات يناظر الشبكة التى تتحكم بجهد ها السالب

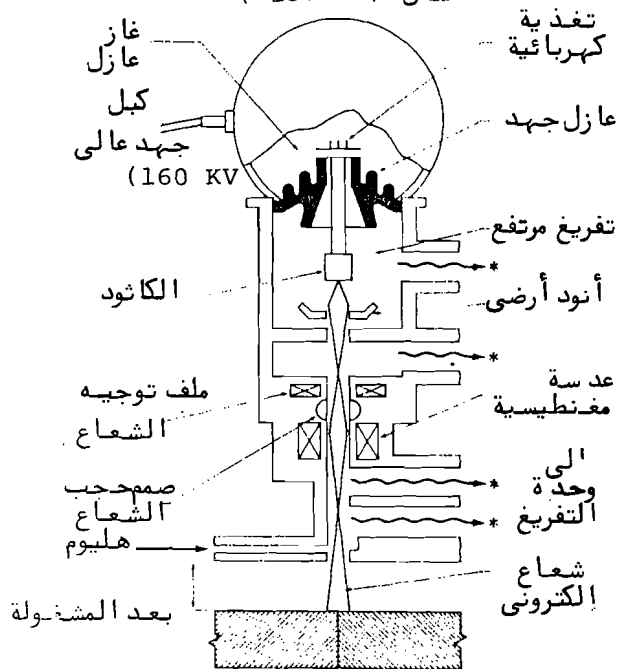
فى تيار الإلكترونات من الأنود للكاثود فى الصمام الثلاثى وهذا الإلكترونيات يتيح تجميع الشعاع وتركيزه بالقدر المنشود



شكل (1 - 256)



شكل (157-1)



شكل (257-2)

ويمكن مراقبة توجيه الشعاع فى الموقع المطلوب فى المشغولة عن طريق تجهيزة بصرية بمرايا وتلسكوب كما هو موضح بالشكل (1 - 257) .

وفى معظم وحدات توليد الأشعة الإلكترونية يمكن توجيه الشعاع بحيث يظل فى اتجاه المحور أو قد يتم توجيهه فى اتجاه منحرف بتأثير مجال مغنطيسى بزاوية انحراف عن المحور لتجنب عودة أيونات الغاز وبخار المعدن إلى داخل الجهاز (المدفع الإلكترونى) مما قد يسبب اتلاف فتيل الطلاق الالكترونيات . ويعتبر ذلك أمرا حيويا فى لحام سبائك الألومنيوم والتيتانيوم .

ويوجد من هذين النوعين أنواع فرعية بإضافات للتحكم فى عناصرها المختلفة .

كما يمكن يتم لحام المشغولة فى داخل الغرفة المفرغة كما فى الشكلين السابقين (1 - 256) ، (1 - 257) إلا أنه يمكن أن يتم لحام المشغولة بعيدا عن غرفة التفريغ بفصل منطقة التفريغ عن المشغولة بمنطقة يدخلها غاز الهليوم شكل (2 - 257) .

اللحام بقوس البلازما Plasma Arc Welding

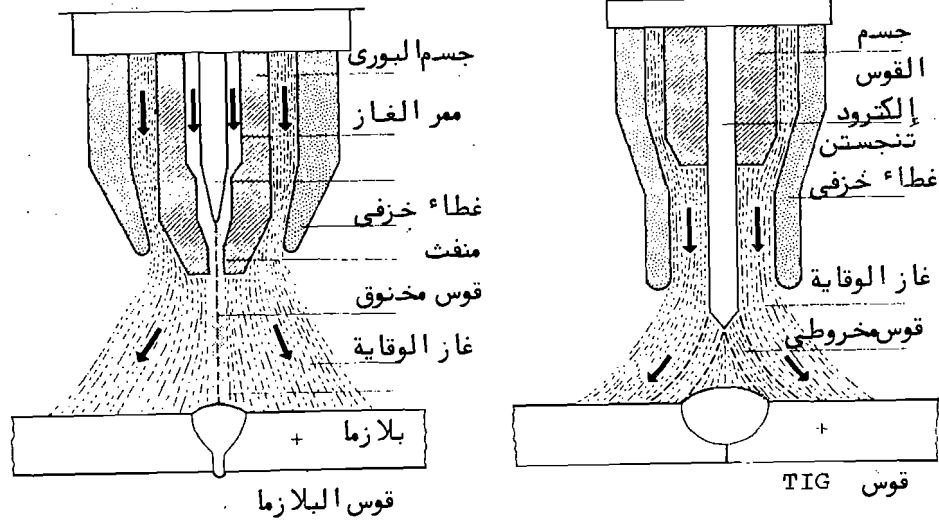
يعتبر قوس البلازما تطويراً هاماً لقوس إلكتروود التنجستن والغاز الخامل (TIG) ولذلك فهو يعتبر مكملًا له أو قد يحل محله في بعض الأحيان وبصفة خاصة عندما يراد زيادة سرعة اللحام وتحسين جودته وعدم تأثر جودة اللحام بمتغيراته بدرجة حساسية . ويتصف شكل قوس البلازما بانقباضه (تخرسه) وحاجته إلى تيار منخفض عن اللحام بطريقة TIG لنفس الوصلة بجانب كونه أكثر استقراراً ويسهل التحكم فيه عند تيارات منخفضة (0,1 A) تحت النطاق المستخدم في قوس TIG للحام الوصلات الرقيقة . ويستخدم قوس البلازما بتيار تتراوح شدته بين 0,1 إلى 100 A للحام ألواح الصلب المقاوم للصدأ والنيكل وسبائك النحاس والتيتانيوم ومعادن أخرى (عدا الألومنيوم والمغنسيوم) بسمك يتراوح بين 3 ، 4 mm .

والبلازما هي حالة الغاز المتأين لكنه متعادل الشحنة في مجموعه أى أن عدد الأيونات الموجبة يكون مساوياً لعدد الإلكترونات السالبة ، والغاز في هذه الحالة يصبح موصلًا للتيزاز الكهربائي ويتأثر بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية .

ويمكن توليد قوس البلازما بين إلكتروود التنجستن المتصل بالقطب السالب (باستخدام تيار مستمر قطبيه مباشرة) وبين فوهة (منفث) حول نهاية إلكتروود المتصل بالقطب الموجب ويمرر غاز الأرجون في الحلقة الضيقة بين إلكتروود والمنفث وبسرعة مرتفعة فيتأين الغاز بحرارة القوس ويخرج من فوهة المنفث في درجة حرارة شديدة الارتفاع (تتراوح بين 10000 ، 17000 °C) وبسرعة كبيرة وبشكل عرق أسطوانى بقطر صغير وهذا القوس هو ما يسمى بقوس البلازما (أى الغاز الساخن) .

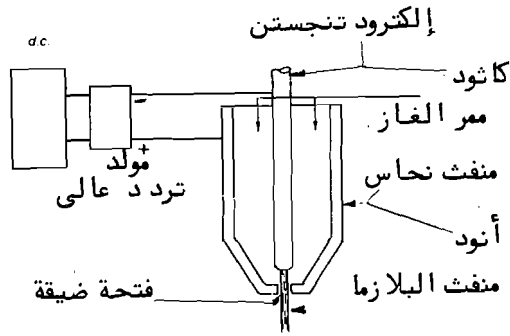
ويتميز قوس البلازما عن قوس TIG من ناحية أخرى بكون الأول أسطوانى الشكل صغير القطر بينما يكون الثانى بشكل منفرج

(شكل كأس أو زهرة اللوتس) فيغطي مساحة كبيرة في المشغولة ولا يتركز في منطقة محددة ضيقة كالبلازما شكل (2 , 1 - 259) ، ويسمى هذا النوع من قوس البلازما بالقوس غير المنتقل شكل (3 - 259)



شكل (1-259)

شكل (2-259)



قوس بلازما غير منتقل

(3 - 259)

وذلك على خلاف القوس المنتقل شكل (1 - 260) الذي يستخدم في عمليات اللحام والقطع والتكسية السطحية وفيه تضاف فوهة منفت مبردة بالماء خارج فوهة المنفت الأولى المحتوية على غاز البلازما والإلكترود ومن خلال هذه الفوهة الخارجية الإضافية يمرر غاز واق (الأرجون) إضافي علاوة على غاز البلازما الذي

يمر خلال فوهة المنفذ الداخلية والتي تتصل بالقطب الموجب مع المشغولة .

ويستخدم غاز الأرجون أو الهليوم أو الأرجون والهيدروجين كغاز البلازما أما الغاز الواقع الخارجى فيكون من الأرجون . ويتصل مصدر التيار المستمر بالتوازي مع وحدة لتوليد تيار عالى التردد ليتولى إشعال القوس فى البدء فى كـسـالـ الحالتين المنتقلة وغير المنتقلة . وفى حالة قوس البلازما غير المنتقل تنتقل الحرارة من القوس إلى المشغولة عن طريق غاز البلازما ، ويمرور غاز الأرجون البارد من المنفذ فإنه يضيق اتساع عرق البلازما ومن ثم تضيق المنطقة المتأثرة بالحرارة وتحسن الخواص الميكانيكية للوصلة . ويتصف قوس البلازما منخفض التيار (0,1 الى 15 A) بزيادة طول تشغيله عن قوس TIG مع إمكانية تغيير هذا الطول بسهولة ودون تغيير الطاقة المستخدمة وهذا بسبب استقامة القوس وصغر قطره وشكله الأسطوانى وينتج عن ذلك تكوين بركة منصهر صغيرة وعمق تغلغل كبير بينما يكون قوس TIG منفرجا بشكل مخروطى الذى يترتب على تغيير طول له اتساع مساحة تأثيره وتغيير فى الطاقة المستخدمة شكـلـ (1 - 259)

وعلاوة على ذلك فإن اختفاء الكترود التنجستن داخل المنفذ يمنع ملاسته للمشغولة ولو بطريق الخطأ وبالتالي يتجنب احتواء آثار من التنجستن فى المشغولة .

معدات اللحام بقوس البلازما :

تستخدم وحدة توحيد التيار وتحويله إلى مستمر إذا كانت شدة التيار فى نطاق 2 إلى 200 A بخواص منحذرة وجهد دائرة مفتوحة (70 V) مع غاز الأرجون أو بخليط منه مع الهيدروجين بنسب مختلفة وإذا تجاوزت نسبة الهيدروجين 5 % فإن جهد التردد العالى لإشعال القوس يصل

إلى 100 V ويمكن ترك هذا التردد يعمل متراكبا مع التيار المستمر طول فترة اللحام ليساعد على استقرار القوس . وتحتوى وحدة توليد التيار على مدخل للجهد 380 - 440 V ، 50 Hz ، وتيار متردد طور واحد بشدة تيار 3,5 A عند أقصى حمل وتحتوى الوحدة على مرحل Relay وصمام يشغل بملف لولبي ليمنع قسح القوس ما لم يمر الغاز وماء التبريد والتحكم فى مقاديره ويسمى قوس البلازما الذى يعمل فى حدود شدة تيار 0,1 - 15 A بالميكروبلازما (قدرة الوحدة 3 KVA ، 200 - 250 V ، 50 Hz) طور واحد وجهد تيار البدء 25 V وشدة 6 A ويكون قطر القوس دقيقا (0,8 mm) وتكون أقطاب الإلكترونيات بأقطار 1,6 ، 2,3 ، 3,2mm . ويستخدم فى المشغولات الدقيقة .

الغازات :

يستخدم غاز الأرجون أساسا لتوليد قوس البلازما عند لحام التيتانيوم والزركونيوم لشراقة اتحادهما بالهيدروجين . أما فى لحام الصلب المقاوم للصدأ وسبائك النيكل المقاومة للحرارة فيستخدم الأرجون أو يخليطه مع الهيدروجين من 5 % إلى 15 % ويمكن بهذا الخليط زيادة سرعة اللحام بنحو 40 % ويتولى الهيدروجين اختزال الأكاسيد فى الصلب المقاوم للصدأ .

ويستخدم الماء المزال تأينه للتبريد ومعدل تصرف غاز البلازما 0,25 - 3,3 لتر / دقيقة تحت ضغط ضعف الضغط الجوى وغاز الوقاية الخارجى من 3,8 إلى 7 لتر / دقيقة فى حدود 5 إلى 100 A .

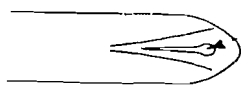
أسلوب اللحام :

يمكن لحام ألواح الصلب المقاوم للصدأ بشخانات مــــن

0,8 إلى 3,2 mm بشدة تيار 25 - 100 A بسلك حشو أو بدونه . ويحتاج الأمر إلى التحكم في شدة التيار والغاز لاختيار الشدة المناسبة لكل حالة إذ أن زيادة شدة التيار تؤدي إلى الحد من تأثير الغاز في استقرار القوس وترحيله ويرى فوهة المنفث . وبتحسين شكل الدرزة ويزداد تغلغل القوس والعكس صحيح . إلا أن مرور غاز البلازما بتدفق دامي يسىء إلى شكل الدرزة .

ولما كان جسم قوس البلازما يتصف بزيادة كثافة التيار الكهربائي على مساحة مقطعه فإن غاز البلازما يمكن أن يخترق المشغولة عند صد مه لها ويشكل ثقباً يشبه ثقب المفتاح Keyhole يمتد على طول خط اللحام وأثناء ذلك تتحرك البركة المنصهرة المتقدمة على القوس وتحيط جسم القوس بشكل حلقي وتمتد فوراً مغطية الثقب المشكل بتأثير الشد السطحي لتكمل درزة اللحام وهذه الظاهرة تدل على الاختراق التام للمشغولة بواسطة القوس وعلاج ذلك تدعيم جذر اللحام بغاز تحت ضغط لمنع الاختراق . شكل (1-162) .

وعند لحام القطاعات (الألواح) الرقيقة تناكبا يجب الحرص على تماس الحواف على طول خط اللحام حتى يندمج منصهر طرف مع منصهر الطرف الثاني أما إذا كان هناك انفصال في موقع ما على طول خط اللحام فإن اتصال المنصهرين ينعدم ومن ثم لا يتم اللحام في هذا الموقع ويمكن علاج ذلك بالحرص على التماس بمساعدة المواسك واستخدام سيقان سند عند الجذر لتحقيق استقامة الدرزة أو استخدام غاز مضغوط كسند عند الجذر وكذلك يمكن تشكيل حواف الوصلة بشكل شفة (زاوية) في لحام التناكب لتحقيق التماس الحواف التحاماً جيداً .



ثقب
المفتاح

القطع بقوس البلازما :

شكل (1-262)

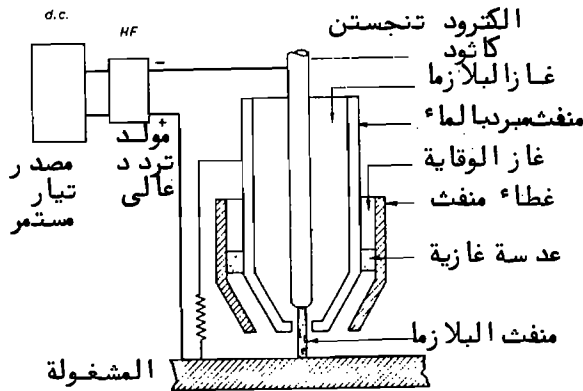
يتم القطع بقوس البلازما على نطاق واسع للمواد التي يصعب قطعها بالوسائل كالصلب المقاوم للصدأ والألومنيوم بجانب التيتانيوم

والتنجستن والصلب الكربوني . ويتحقق القطع بالصهر وإزاحة المنصهر (وليس بالأكسدة كما هو الحال فى القطع بالأكسجين أستلين) . فيقذف قوس البلازما بين إلكترود التنجستن والمنفث النحاس المبرد بالماء والذي يمر من خلال فوهته خليط الغازات تحت ضغط مرتفع (حول القوس) ويخرج بشكل تيار بلازما متأين وفى درجة حرارة شديدة الارتفاع تبلغ نحو 17000°C ثم ينتقل القوس من المنفث ويمر بين الإلكترود والمشغولة . ويمكن بخنق (تخفض) تيار البلازما الحصول على خط قطع ضيق وناعم ونظيف مع انخفاض ملموس فى الطاقة المستخدمة .

وتستخدم عادة وحدات القطع بقوس البلازما بقدرة (20 KVA) وجهد 220 أو 380 أو 415 V تبرد بالهواء يخرج منها تيار مستمر بجهد 200 V (دائرة مفتوحة) وشدة تيار تتراوح بين 10 ، 100 A .

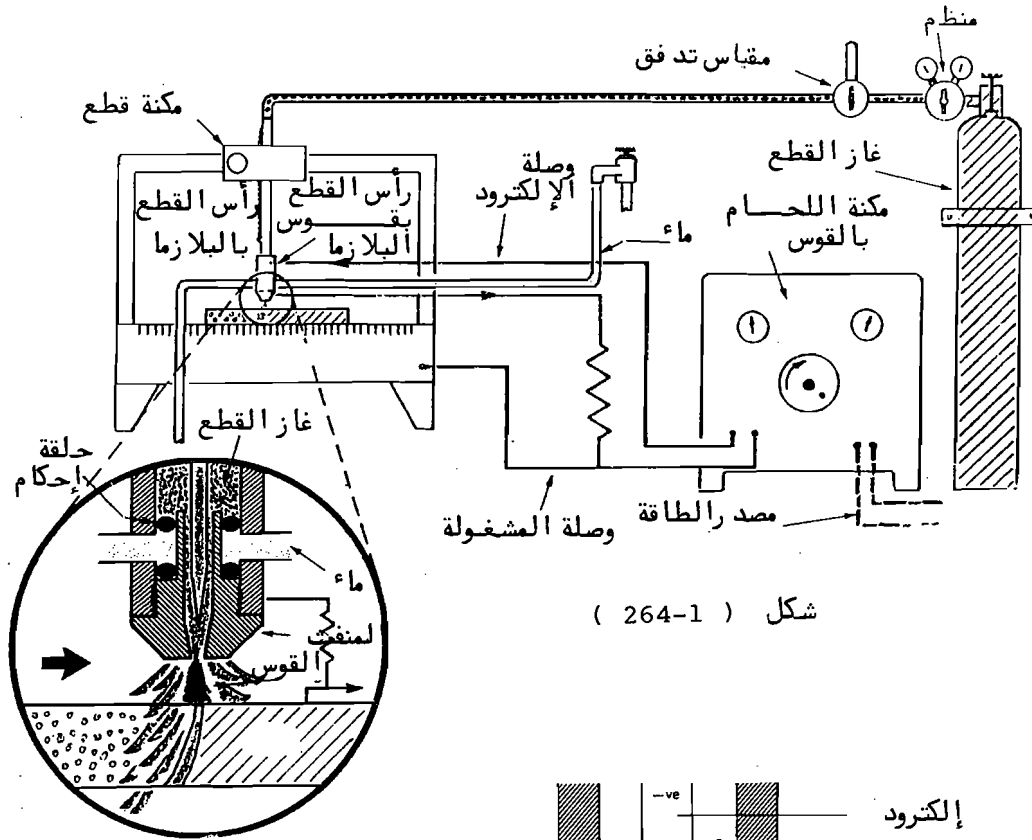
ويستخدم فى القطع عادة خليط من غاز الأرجون 10 % ، والنيتروجين 90 % للصلب المقاوم للصدأ حتى سبك 6,5 mm وما يزيد عن ذلك حتى 25 mm يستخدم خليط من الأرجون 80 % مع الهيدروجين 20 % وتكون شدة التيار 100 A (لسبك 13 mm) وتصرف خليط الغازات 20 لتر أرجون + 5 لتر هيدروجين فى الدقيقة ويعطى ذلك سرعة قطع 0,4 m/min .

بورى القطع بقوى البلازما :



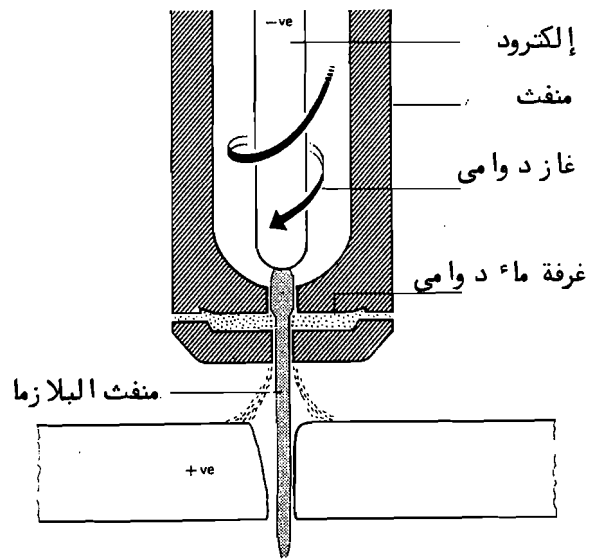
يوضح شكل (1 - 264) تخطيطاً لبورى القطع بقوى البلازما والذي يمكن أن يوجهيد ويا أو ميكانيكياً ويبرد البورى عادة بالماء المزال تأينه لتجنب التأثير الإلكتروليتى للماء المعتاد والذي

شكل (1-263)



شكل (264-1)

شكل (264-2)



القطع بالبلازما بحقن الماء

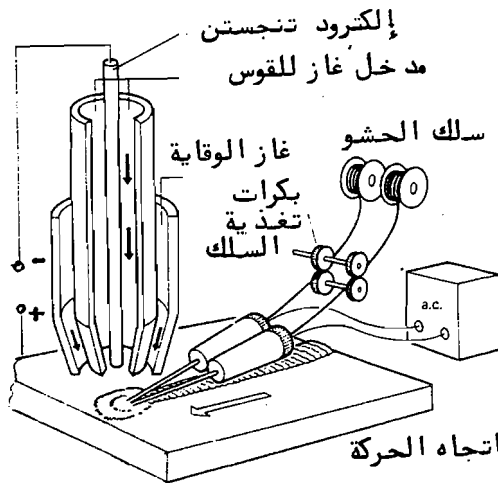
يسبب التآكل فى منفث البورى وإتلافه .

ويتم إزالة التأين من الماء بالمعالجة بالراتنجات المركبة من مركبات عضوية لا تذوب فى الماء .

القطع بقوس البلازما ومنفث الماء :

يحقق الماء فى هذه الطريقة المحيطة بمنفث غاز البلازما ويسرى الماء فى شكل د وامى بواسطة أربعة منافث ضيقة موجهة فى الاتجاه المحيطى ليخرج الماء من الفوهة فى حركة د وامية فى نفس اتجاه الغاز شكل (2 - 264) ويكون خروج الماء فى شكل مخروط مفرغ رقيق الجدران يحيط بقوس البلازما ويخصر قطره . ويستخدم غاز النيتروجين للقطع لرخصه ويساعد استخدام منفث الماء على تحسين جودة القطع وزيادة سرعته .

التكسية السطحية بقوس البلازما :



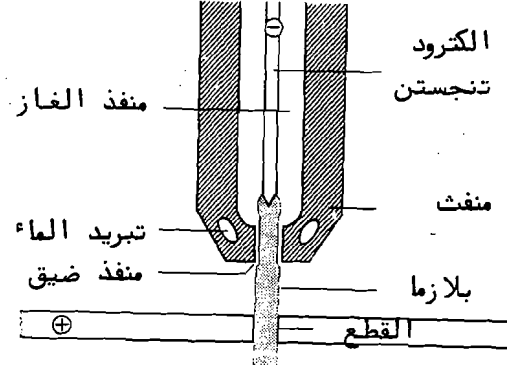
شكل (1 - 265)

يمكن ترسيب كميات متحكم فى مقدارها أتوماتيا من معادن النيكل والأنكول وباقى سبائك النيكل الأخرى والصلب الأستينيتى على أسطح المعادن الأخرى كالصلب الكربونى لحمايته من التآكل أو البرى .

ويستخدم فى هذا الشأن قوس البلازما المنتقل عموديا على السطح المطلوب تكسيته .

أما معدن التكسية فيزود من بكرتين تحمل الأسلاك

الملفوفة عليها وتتم التغذية بمحرك خاص وتوجه الأسلاك بحيث تكاد تماس السطح . وتستخدم وحدات التغطية بشدة تيار تتراوح بين 450 ، 600 A أما غاز البلازما فيكون عادة خليط من الهليوم 75 % والأرجون 25 % مع غاز وقاية للمنفت الخارجى من الأرجون شكل (1 - 266)



القطع بالبلازما

شكل (1 - 266)

اللحام بشعاع الليزر Laser beam welding :

شعاع الليزر Laser هو شعاع ضوئي وهذا الاسم هو تجميع للحروف الأولى لتعريف كنه هذه الأشعة Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation أى تضخم (تكبير) الضوء بتنشيط الأشعة المنبعثة .

ويستخدم شعاع الليزر فى لحام وقطع معظم المعادن باستخدام شعاع مركز منه قطره لا يزيد عن قطر شعرة الرأس ومن أهم مميزات أشعة الليزر أنها تخترق المواد الشفافة كالزجاج أو اللدائن الشفافة والراتنجات العازلة دون أن تتلفها بالتسخين أو الصهر بينما تصهر المعادن خلف هذه المواد الشفافة مثل لحام الأسلاك المطلية بالورنيش العازل دون إتلاف العازل . ونظرا لتركيز الشعاع فى مساحة متناهية الصغر فإن المناطق الملاصقة للحام لا تتعرض للتلف كما أن المنطقة المتأثرة بالحرارة تكون متناهية الضيق ولا تتأثر الأجزاء المعالجة حراريا بهذه الأشعة ولا تفقد شيئاً من خواصها المكتسبة بالمعالجة الحرارية . كل ذلك بسبب تركيز الأشعة المستخدمة وانخفاض مقدار الطاقة المستخدمة حتى أنه يمكن مسك الأجزاء الملحومة أو المقطوعة بهذه الأشعة باليد بعد اللحام مباشرة . ويمكن لحام المعادن غير المتشابهة والصعبة فى لحامها بالطرق الأخرى مثل النحاس والنيكل والتنجستن والألومنيوم والصلب المقاوم للصدأ والتيتانيوم والكروميوم .

ونظرا لارتفاع تكلفة اللحام بالليزر فإن استخدامها يقتصر حالياً على استخدامات الفضاء والصناعات الإلكترونية والتي تتطلب دقة وتحكم عاليين .

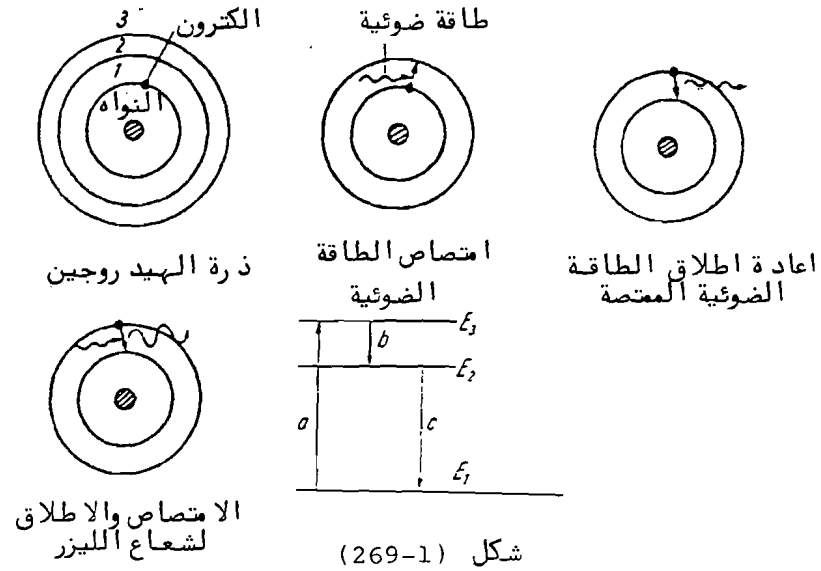
ويتصف اللحام بالليزر بضخامة التغلغل على عكس التغلغل العميق بالشعاع الإلكتروني . وتصدر أشعة الليزر فى نبضات تدوم 0,002 ثانية فقط وبتردد واحد إلى عشرين نبضات فى الثانية الواحدة وفى كل نبضة للشعاع يصادف بها سطح

المعدن يصهر بقعة دقيقة إلا أن هذه ما تلبث أن تتجمد في زمن لا يتجاوز بضعة ملي ثانية ولذلك يكون شكل خط اللحام عبارة عن بقع متجمدة متراكبة .

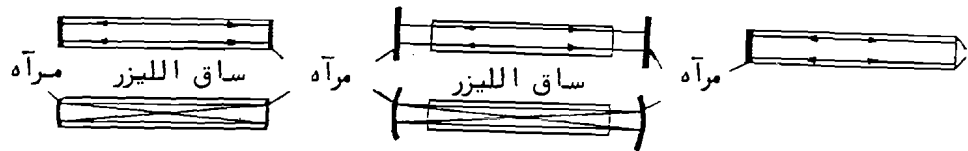
توليد أشعة الليزر :

إنه يمكن استثارة ذرات المادة باستخدام طاقة ضوئية أو كهربائية وتشبه هذه الاستثارة ما يتم في أنابيب الفلورسنت للإضاءة وشاشة أجهزة التليفزيون . فالظاهرة الفلورسنتية تعتمد على قابلية ذرات معينة في المادة لإطلاق أشعة ضوئية منها عند ما تتعرض لأشعة طول موجتها قصير .

وفي أجهزة توليد أشعة الليزر للحام تستخدم ساق قطره عشرة مليترات وطوله مئة مليمتري مصنوع من بلورة الياقوت (Al_2O_3) Ruby المصنوع (غير الطبيعي) ويضاف قدر ضئيل من أكسيد الكروم بنسبة 0,05 % الذي يكسب الياقوت لونا أحمرًا خفيفًا بسبب امتصاصه للضوء الأخضر من الضوء الأبيض العادي . فعند ما تمتص ذرات الكروم هذه الأشعة الضوئية فإن بعض إلكتروناتها تستثار ولذلك فإنه يعبر عن ذلك بأن الضوء الأخضر يضيخ (يرفع مستوى) ذرات الكروم إلى أعلى . ولكن هذه الذرات ما تلبث أن تعود إلى حالتها الأولى (من مستوى الطاقة) مطلقة جزءًا مما امتصته وتشعها في صورة أشعة ضوئية فلورسنتية حمراء شكل (1 - 269) وهذه الأشعة المطلقة تقوم بدورها باستثارة ذرات أخرى ثم تعود هذه الأخيرة إلى مستواها الأصلي للطاقة وتطلق جزءًا مما امتصته وتكون هذه الأشعة المطلقة بنفس طول الموجة monochromatic للأشعة سالفتها المطلقة من الذرات الأولى وتتوافق معها أي تكون معها على نسق واحد (In Phase) كما أنها تكون مستقطبة في مستوى واتجاه واحد Polarized ويطول موجة يتراوح بين

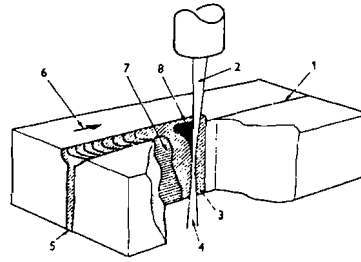
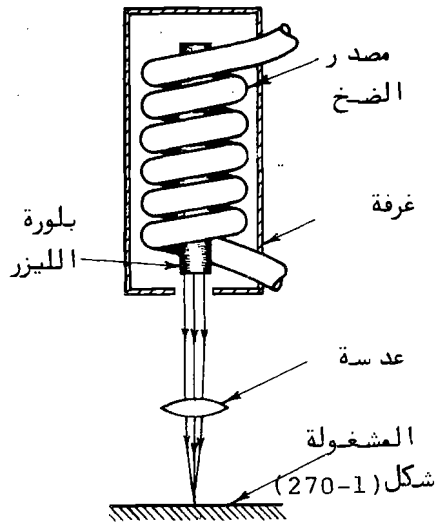


شكل (1-269) ، 0,4 ، 0,75 ميكرومتر μm (= ميكرون)
شكل (1-269) وشكل (1-270)

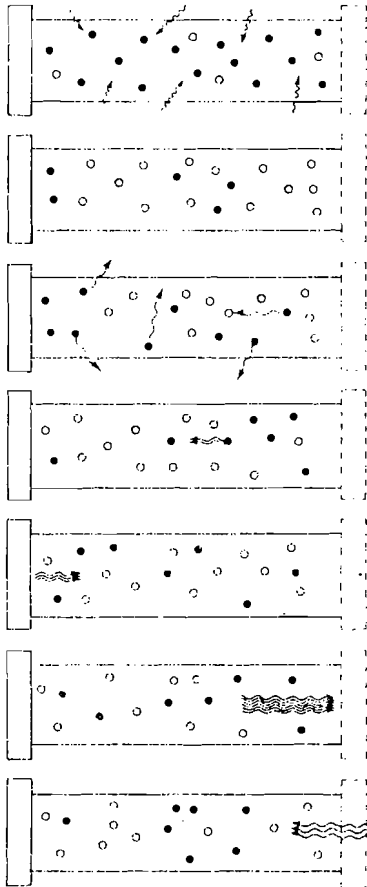


شكل (2-269)

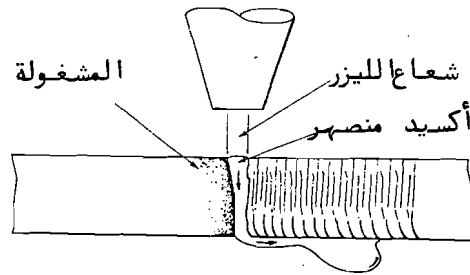
وهكذا تتكرر الاستثارات وإطلاق الأشعة من ذرات الكروم فـيـما يعرف بعملية تضخيم (تكبير) الأشعة الضوئية . وينتهي ساق الياقوت في طرفه بوجه سطحه عاكس (مرآة) وبينما يكون سطح وجه الطرف الثاني نصف عاكس ونصف منفذ للأشعة . ويتولى هذين السطحين المتوازيين العاكسين للأشعة الضوئية تبادل انعكاس ما يسقط عليها من أشعة وتستمر عملية تضخيم الأشعة الضوئية بتكرار اصطدامها بذرات الكروم وإثارتها حتى يصل الحال إلى الحد الحرج لشدة الأشعة المضخمة (تسمى الطاقة المستهله) والتي



شكل (270-3)



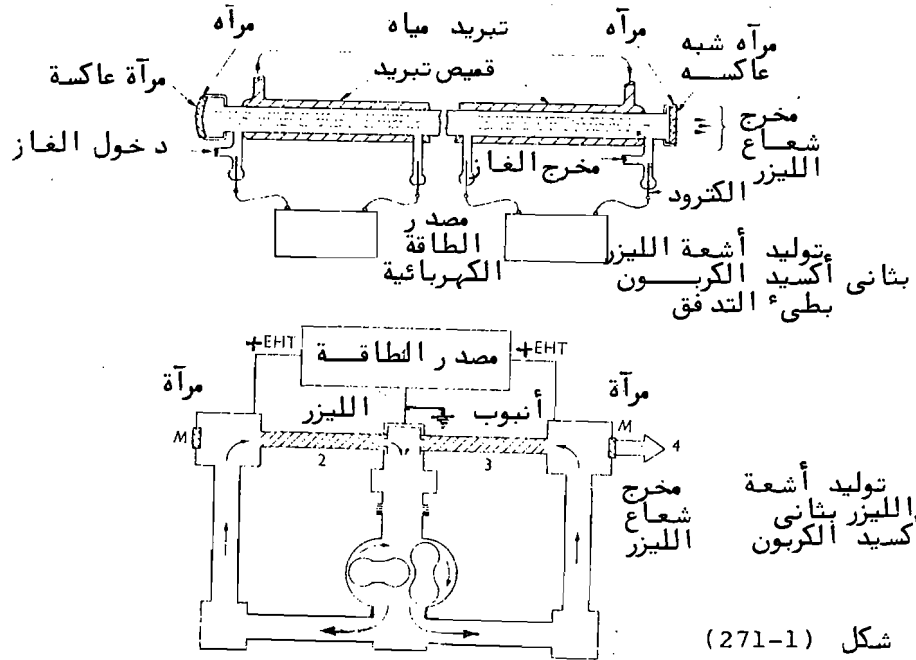
○ ذرة مستثارة ● ذرة غير مستثارة
شكل (270-2)



شكل (270-4)

عنده يمكن للأشعة النفاذ من الطرف ذى المرآة نصف العاكسة ونصف المنفذة للأشعة .

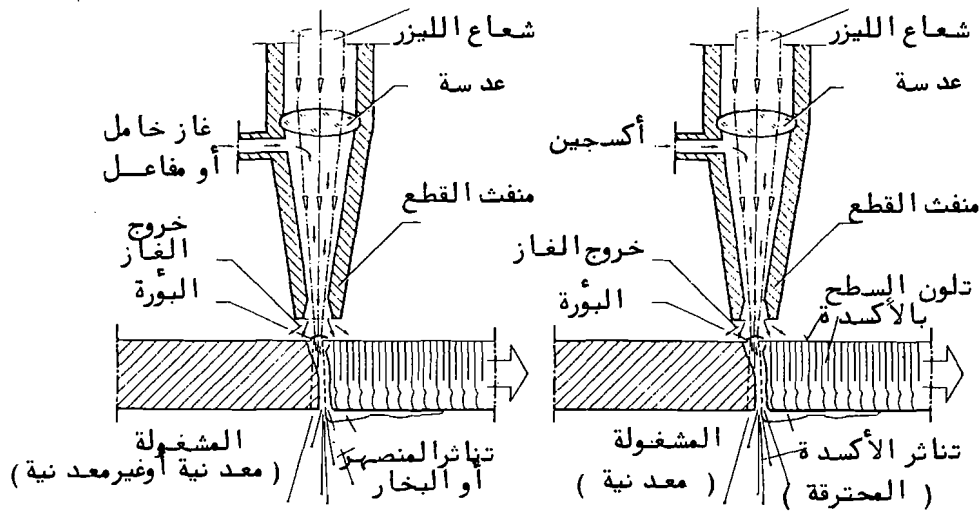
وتتم الاستثارة الأساسية لذرات الكروم من مصدر جهاز وميضى ضوئى Flash يحتوى على النيون ويكون المصدر محيط لساق العقيق إذ يكون شكله كأنبوب حلزوني شـكل (1,2 - 270)



شكل (1-271)

وقد يؤدي سقوط شعاع الليزر بسطح المعدن بصورة نابضة إلى تبخر هذا السطح في موقع سقوط الشعاع ولذلك فإنه يجب في مثل هذه الحالات تخفيض طاقة الشعاع لتجنب تبخر المعدن السطح فيطول الوقت اللازم للصهر (طول النبضة مع طاقة منخفضة) ويتم تركيز شعاع الليزر بالأجهزة البصرية كما يمكن استخدام الأشعة في القطع إما بالصهر المباشر أو بمساعدة

الأكسجين شكل (4-270)



شكل (1-272)

وقد تمّ تطوير طرق توليد أشعة الليزر بعد ذلك باستخدام
تنجستات الكالسيوم الموضوع في أنبوب زجاجي من استخدام
الكروم أو النيودميوم كشوائب للاستثارة مثال ذلك: عقيق
Yttrium - Aluminium - garnet (YAG) مع
النيودميوم .

كما انتشر الآن استخدام وحدات الليزر بالغاز بنفـس
المبدأ في توليدها بالمواد الجامدة السابق شرحها . ففي
ليزر الغاز في أنبوب طويل من الكوارتز أو الزجاج المقاوم للحرارة
Pyrex بنافذتين في الطرفين ومرآتين مصممتين خصيصاً
لعكس وارتداد الأشعة عند الطرفين . وفي بادئ الأمر استخدم
غاز النيون مع شوائب من غاز الهليوم (للاستثارة) مع استخدام
أشعة إلكترومغناطيسية ذات تردد مختار تصدر من مولد بتـردد
بالـارتفاع Radio frequency وتتصل بالـكثـرودات حول
الأنبوب الزجاجي .

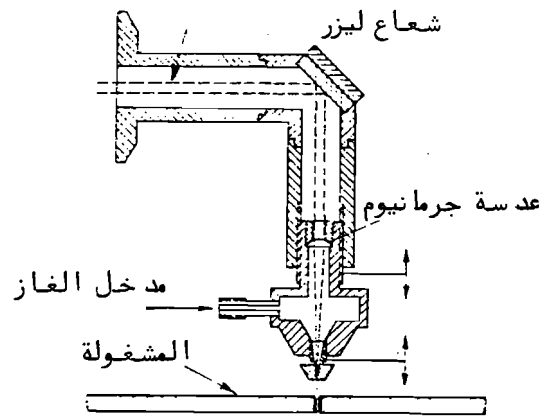
كما يستخدم غاز ثاني أكسيد الكربون مع شوائب من النيتروجين
مع / أو الهليوم ويوضع في أنبوب طوله عدة أمتار فتصدر أشعة
ليزر بطول موجه يبلغ ($10,6 \mu m$) أي أطول من طول
موجة أشعة الليزر الصادرة من البلورات الجامدة وتكون هذه
الأشعة إما مستمرة أو بصورة نابضة والتي تكفي لتسخين وصهر

وتبخير معظم المعادن والمواد الحرارية مثل النيوبيوم والتيتانيوم والتنجستن التى يمكن لحام قطاعات رقيقة منها . كما يمكن لحام المعادن غير المتشابهة بحماية من غاز خامل . ويمكن ثقب أشد المواد صلادة وهو الماس . شكل (1-271)

وتوجد وحدات حاليا وحدات لتوليد أشعة الليزر بقدرة تبلغ 20 KW تستخدم للحام وقطع القطاعات السميكة بمساعدة الأكسجين .

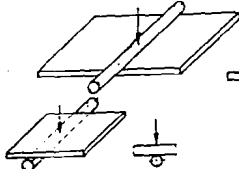
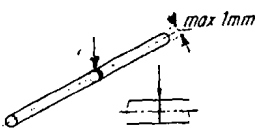
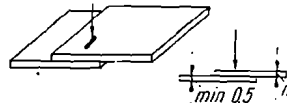
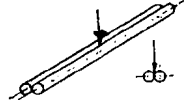
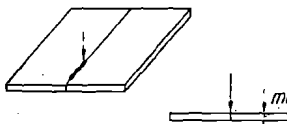
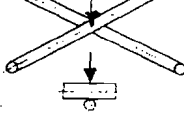
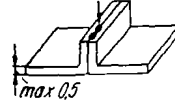
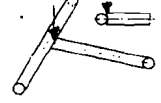
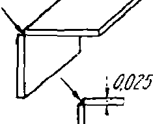
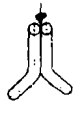
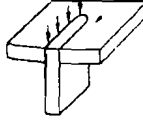
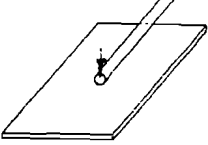
ويمكن استخدام وحدة ليزر بغاز ثانى أكسيد الكربون قدرتها 2 KW لحام مواد حتى سمك 3 mm وفى هذا النطاق فهذه تعتبر منافسة للحام بالشعاع الإلكتروني . وتبلغ سرعة اللحام بالليزر 12 mm/s وعند ما تصل السرعة إلى 20 mm/s فإن اللحامات بها لا يمكن التفرقة بينها وبين اللحام بالشعاع الإلكتروني .

ويوضح شكل (1-272) إحدى وحدات توليد الأشعة من ساق الياقوت وتوجيه شعاع الليزر بالانعكاس بالمرآة فى اتجاه عمودى على خط خروج الشعاع من ساق الياقوت بقصد حماية المصدر من أبخرة المشغولة وكذلك التحكم بالرؤية فى توجيه الشعاع إلى الموقع الصحيح فى المشغولة .



شكل (1-273)

أمثلة تطبيقية على اللحام بأشعة الليزر

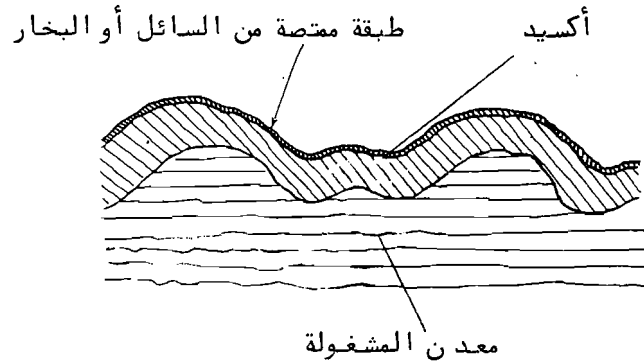
- | | |
|--|--|
|  <p>7 - سلك مع لوح</p> |  <p>1 - وصلة تناكب سلكية</p> |
|  <p>8 - وصلة تراكب</p> |  <p>2 - سلكين متوازيين</p> |
|  <p>9 - وصلة تناكب لوحين</p> |  <p>3 - سلكين متعامدين</p> |
|  <p>10 - وصلة حافة</p> |  <p>4 - وصلة حرف T</p> |
|  <p>11 - وصلة زاوية</p> |  <p>5 - وصلة نجمة</p> |
|  <p>12 - وصلة حرف T لوحين</p> |  <p>6 - سلك مع لوح</p> |

الباب الرابع

اللحام بالضغط على البارد Cold Pressure Welding

لو أردنا وصل قطعتين من المعدن باللحام على البارد أى دون أى تسخين نجد أن ذلك ممكن من الناحية النظرية طالما كان بالإمكان اقتراب الذرات السطحية للقطعة الأولى من الذرات السطحية للقطعة الثانية بحيث تصبح المسافة بين هذه الذرات مساوية للمسافة الذرية لخلايا وبلورات المعدن داخل القطعة ، ولكننا نجد أن تحقيق ذلك من الناحية العملية أمر يقف فى سبيله بعض العقبات أهمها :

1 - إن الذرات السطحية للمعادن لا تمثل الذرات المكونة للمعدن بداخله إذ أن معظمها مركبات جزيئية من أكاسيد ومركبات عضوية شكل (1 - 275) وغير ذلك، أى أن سطح كل معدن يكسوه طبقة من مواد غريبة يتجاوز سمكها عدة مئات من قطرة ذرة المعدن ذاته ولذلك فإن اقتراب ذرات المعدن الداخلية تحت هذه الظروف يعتبر أمرا مستحيلا .



شكل (1 - 275)

ولا بد لتحقيق التقارب المنشود من إزالة هذه الطبقات الغريبة وتعتبر أهم هذه الطبقات هى طبقة الأكاسيد التى يجب

إزالتها بالطرق الميكانيكية أو الكيميائية أو الكهربائية أو بهـمـ جميعا . كما سيأتى تفصيله فيما بعد .

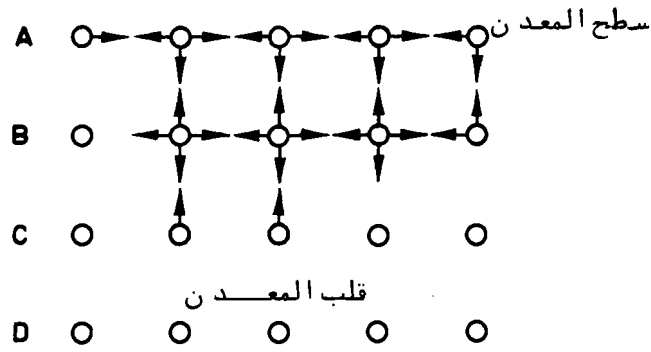
2- يفرض إزالة الطبقات الغريبة الموجودة على السطح حتى يصبح نظيفا من الناحية الكيميائية أى أن ذرات سطحه تصبح مملوكة لذرات قلبه نجد أن استواء السطح يكون أمرا مستحيلا من الناحية العملية فأدق وسائل التشغيل من تجليخ وصقل وغيرها لا تستطيع أن تصل بجودة سطح إلا فى حدود مدى خشونة بسعة تموج لا تقل عن 500 أنجستروم ($0,00005 \text{ mm}$) أى ما يعادل شحنة 200 ذرة تقريبا . فالسطح يتكون فى حقيقته إذا من مرتفعات ومنخفضات شكل (1 - 275) (ارتفاعاتها فى هذه الحدود) تكون عائقا لتحقيق تقارب ذرات السطح إنما يتم التقارب فقط عند نقط محدود لها لا يتجاوز عدد ها ثلاثة أو أربعة أى أن الاقتراب والترابط لن يتم إلا فى حدود القوى الرابطة المنشودة بين هذه الذرات المعدودة على سطح قطعتي المعدن . ولتحقيق اقتراب معقول من ذرات السطح يمكن ضغط قطعتي المعدن تجاه بعضها البعض حتى يتم تشكيل قمم السطح تشكيلا لينا فيزداد التقارب والارتباط عبر بقع بمساحات كبيرة نسبيا بدلا من نقط . أى أننا نحتاج فى هذا السبيل إلى ضغط ميكانيكى لتحقيق الالتحام .

وبتحقيق هذه الظروف المشار إليها . يمكن الحصول على التحام بمقاومة جيدة تعادل قوى الربط التى تتحقق على حدود الحبيبات داخل المعدن وذلك على المساحات الملتحمة . ولذلك يجد ربنا أن ندرس بشئ من التفصيل طبيعة أسطح المعادن وتأثير الضغط الميكانيكى على تحقيق الارتباط المنشود .

أسطح المعادن وقابليتها للحام :

من المعروف أن المعادن تتكون من حبيبات تتصل ببعضها عن طريق حدود الحبيبات وهذه الحبيبات تتكون من بلورات كل بليره تتكون من

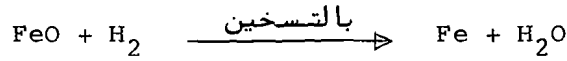
ذرات تترتب في انتظام هندسي بنظام الخلايا المعروفة مثل المكعبة بتركيز في وسطها BCC أو بتركيز في وسط أسطحها FCC أو بخلايا منشورية سداسية مزدحمة CPH وغيرها من نظم الخلايا وكل ذرة داخل المعدن ترتبط بجاراتها بقوى ربط في جميع الجهات وتتنز في وضعها تحت تأثير هذه القوى شكل (1 - 277) فالذرات في الصفوف الداخلية B,C,D تقع تحت قوى ارتباط



شكل (1 - 277)

من جميع الجهات ولذلك فهي متزنة في أوضاعها أما ذرات السطح A فهي تشد بعضها البعض على السطح وتشدها ذرات الصف B ولكنها تفتقر إلى ذرات تشدها فوق السطح ولذلك فهي غير متزنة ولا تجد سبيلا لتحقيق اتزانها إلا بجذب ذرات أو جزيئات من الأجواء المحيطة بـ سطح المعدن وهي جزيئات الهواء المحيط فتجذبها إلى السطح لتحقيق اتزانها فيلتصق (Adsorb) الهواء بالسطح ويتجاذب معه بشدة ، ولما كان الهواء يحتوي على الأكسجين ومقدارا من الرطوبة والعناصر الأخرى نجد أن الأكسجين يتفاعل مع ذرات السطح مكونا أكاسيد بجانب التصاق طبقة من الرطوبة . وهذه الطبقات هي التي تشكل العازل (العائق) الرئيسي لمنع التقارب بين ذرات السطح بجانب طبقات أخرى قد تكون موجودة من مواد دهنية (شحومات أو زيوت) أو أي ملوثات أخرى (ناشئة عن اللمس) وقد يبدو للذهن اللوهلة الأولى أن أمر

هذه الطبقات أمر يسير. إذ أنه يمكن إزالتها ميكانيكيا بالكشط أو بالبرد أو التجليخ وخلافه. إلا أن ذلك لو تم فهو في الحقيقة يتم لحظيا إذ أنه بمجرد انتهاء عملية التنظيف الميكانيكي سرعان ما تتكون طبقات جديدة من الأكاسيد يزداد سُكْمُهَا بمرور الزمن ويتم ذلك في جزء من الثانية والمعالجة الكيميائية لهذه الأكاسيد (باختزالها) لن تقدم كثيرا فسنجد أن النتيجة تتكرر فالتأكسد يبدأ مرة ثانية فور انتهاء المعالجة الكيميائية اللهم إلا إذا تم تحقيق ذلك بمعزل عن الهواء الجوي أى في جو مفرغ . أى بوضع الأسطح المطلوب تنظيفها (بعد تنظيفها ميكانيكيا) في غرفة محكمة يمكن تسخينها حتى درجة حرارة 400°C ومملوءة بالهيدروجين وجعل الغرفة مفرغة أى تحت ضغط منخفض (نحو $1 \times 10^{-5} \text{ cm}$ زئبق) فتتحلل الأكاسيد الباقية تحت ظروف ارتفاع درجة حرارة والضغط المنخفض فلو كان المطلوب تنظيفه حديثا فان الاختزال يتم على النحو التالي :



هذا بجانب منع الأكسدة ومنع وجود أية رطوبة تلتصق على السطح . أى أن السطح يصبح من الناحية الكيميائية نظيفا .

ولو أمكن تحقيق ذلك تحت هذه الظروف القاسية وأمكن جعل سطحين معالجين داخل الغرفة يلتصقا نجد أن هناك ارتباطا يتحقق بينهما تتوقف قوته على مدى استواء السطحين إذ أنه على مدى استواء يتوقف مقدار مساحات القمم الموجودة على السطح ونقول هنا إن الالتصاق سيتم على مساحات وليس على نقط كما ذكرنا سابقا (من الناحية النظرية) إذ أن القمم إذا كانت مساحة قممها تشمل ذرة أو عدة ذرات فإن مساحة قممها تكون متناهية في الصغر وبالتالي فإن الجهد الناشئ عن الوزن الذاتي لقطعة فوق الأخرى سيكون كافيا لانقيار القمم وتشكلها تشكيلا لنا فتستوى وتزداد مساحة الالتصاق .

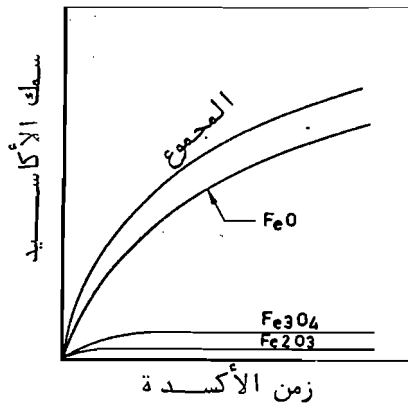
وكلما زاد الضغط الذى يمكن تطبيقه من الخارج كلما زادت بالتالى مساحة التلاصق فلو كان الضغط المطبق هو p نيوتن / مم^2 وجهد الاستسلام (بدء التشكيل اللدن) يعادل σ_y فإن مساحة التلاصق ستكون متناسبة مع المقدار $(\frac{p}{\sigma_y})$ فهذه هى نسبة المساحة التى انبسطت وأصبحت مستوية وصار عند ها التلاصق تاما

نتيجة للتشكيل اللدن بعد انهيار القمم ويحيط بها مباشرة مساحات حلقيه لمساحات لم يصل الجهد عندها إلى المقدار الكافي للتشكيل اللدن σ_y أى أن هذه المساحات الحلقيه مازالت تقع تحت إجهادات فى حدود المرونة . وقد وجد (بالتجارب العملية) أن هذه المساحات التى تقع تحت إجهادات مرنة تزيد المساحة المتصلة بدرجة كافية حتى أنه عند تطبيق قوى ضغط (جهد) فى حدود 10 % من جهد الاستسلام σ_y نجد أن نسبة مساحة التلاصق تخضع للعلاقة (العملية)

$$F = \frac{2 P}{\sigma_y} \quad \dots\dots (1.1)$$

بمعنى أنه عند تطبيق جهد قدره $20 \text{ N/mm}^2 \cong 2 \text{ KP/mm}^2$ فقط نجد أن 20 % من المساحة الكلية قد التصق لأن جهـد الاستسلام يعادل $200 \text{ N/mm}^2 \cong 20 \text{ KP/mm}^2$ ويظل المعامل (2) الذى ظهر فى المعادلة 1 . 1 بالمقارنة بالمقدار $\frac{P}{\sigma_y}$ متوقفا لمدى كبير على جودة السطح (من الكشط إلى الصقل) وقد يزداد هذا المعامل عند الصقل المتناهى ويصل إلى 10 .

ومن الواضح أن أسلوب التنظيف الذى يتم تحت الظروف القاسية المذكورة يصعب تحقيقها من الناحية العملية . لذلك يكتفى بالتنظيف الميكانيكى ومحاولة تحقيق الالتحام مع قبول وجود طبقات الأكاسيد المتكونة فى اللحظات الأولى . والشكل رقم (1 - 279) يوضح بياناً لسمك الأكاسيد المتكونة بمضى الزمن لبعض المعادن .



شكل (1 - 279)

فلو أن قطعتين من المعدن تمّ تنظيفهما ميكانيكيا ثم تمّ ضغطهما فإن نسبة المساحة الملتصقة ستخضع للنسبة الموضحة في المعادلة (1,1) إلا أن ذلك يعنى أن هناك التحاماً ما سيتم على هذه المساحات المتلاصقة كلها . وتعتبر الأكاسيد المتكونة بسرعة هـي المسئولة أولاً عن إخفاق اللحام في هذه الحالة . وبالرغم من ذلك فإن الأسطح المعدنية المنظفة ميكانيكياً فقط (بالبرد أو الكشط أو التخليخ) يمكن أن تلتحم جزئياً لو وضعت مع بعضها البعض . وقد أمكن لبعض الباحثين إثبات أن هناك جسور اتصال معدنية بين السطحين رغم وجود طبقة الأكاسيد الرقيقة العازلة .

وقد أمكن التأكد من هذه الحقيقة يجعل أحد السطحين ذو فاعلية إشعاعية Radioactive (بقذف السطح في سيكلوترون Cyclotrone) مع الحفاظ على سطح القطعة الأخرى دون معالجة ، وعند ضغط السطحين مع انزلاقهما نجد أن بعض المناطق على سطح الانفعال بينهما والتي تتكون عند ها جسور معدنية تشبه في طبيعتها حدود الحبيبات وتكون هذه المناطق أقوى من المعدن تحتها علاوة على تصلد ظاهر للطبقة الواقية مباشرة تحت هذه الجسور وبالتالي فهي أقوى من المعدن الأصلي . وعند فصل السطحين نجد أن حبيبات من المعدن الأصلي في أحد السطحين قد تمزقت منه والتحمت بالسطح الآخر أى يتبادل السطحان تمزق حبيبات منها والتحامها بالسطح الآخر الذى لم يعالج والذي نجد أنه تأثر إشعاعياً نتيجة لانتقال حبيبات مشعة إليه عن طريق الجسور المعدنية . ولو أن التجربة السابقة أعيدت بتفاصيلها مع ضغط السطحين دون انزلاق أحدهما على الآخر نجد أن مقدار الحبيبات المنقولة عبر سطح الانفصال قد تضاعف عن التجربة الأولى وذلك دليل على وجود التحامات دقيقة وضئيلة قد حدثت كذلك ولو أنها أقل من الحالة الأولى التى مورس فيها ازلاق السطحين مع الضغط .

ومن الواضح أنه لا يمكن فى هذه الحالات تقدير المساحات التى تم عندها تكوين الجسور المعدنية . إلا أنه يمكن من ناحية أخرى

تقدير هذه المساحة بقياس شدة التيار الكهربائي الذى يتاح له المرور عبر السطح والذى سيتمكن أغلبه من المرور فقط عبر الجسور المعدنية المتكونة (بعض التيار يمكن أن يمر عبر الشغرات الضيقة أو طبقات الأكاسيد الرقيقة جدا بأسلوب التأثير النفقى Tunnel Effect) مصادفاً فى سريانه اختناقات تعرف بالمقاومة الخاصرية أو عند المضائق Constriction Resistance هذا بجانب المقاومة الحجمية (العادية) لمرور التيار فى المعدن . ولو أخذنا فى الاعتبار أحد هذه الاختناقات الخاصرية (الضيقة) فإننا نجد أن مقاومتها الكهربائية R تبلغ لجسر واحد :

$$R = \frac{1}{2 \pi a c} \quad \dots\dots (1.2)$$

اشتقاق هذه العلاقة موجود فى صفحتى (304, 305)

a = نصف القطر المتوسط لجسور الاتصال

c = التوصيلية الكهربائية للمعدن

وتصبح المقاومة لعدد n من الجسور وباعتبار نصف القطر المتوسط a =

$$R = \frac{1}{2 \pi a c n} \quad \dots\dots (1.3)$$

وتكون مساحة مقطع الجسور

$$A = 2 \pi a^2 n \quad \dots\dots (1.4)$$

وبالتعويض من 1.3 فى 1.4 نجد أن

$$A = \frac{1}{4 \pi R^2 c^2 n} \quad \dots\dots (1.5)$$

وباعتبار جزء مساحة السطح (f') الذى تم عبره الالتحام بالنسبة للسطح الكلى نجد أن :

$$f' = \frac{1}{4 \pi v r^2 c^2} \quad \dots\dots (1.6)$$

حيث

v = نسبة ازدحام الجسور لوحدة المساحة عند الالتصاق

r = المقاومة الكهربائية لوحدة المساحة

وفى حالة لحام الصلب عند ما يكون متوسط عدد الجسور فى السنتيمتر المربع يبلغ (2) إذا كان الضغط بين السطحين يبلغ 1 N / mm^2

فإن مقدار جزء المساحة (f') الذى تم عبره الالتحام يبلغ فقط ($0,0005$) وبايجاد المساحة (f) الذى تم عندها التلامس (دون الالتحام) كما فى المعادلة (1.1) نجد أنها تبلغ (0.0045) أى أن نحو (10%) فقط من مساحة التلاصق سيتم عندها الالتحام المعدنى . وزيادة الضغط نجد أن المقدار $f' \propto f$ يزداد بمعدل أكبر من f . ويمكن تفسير سبب ذلك بأحد افتراضين : أولهما زيادة عدد نقاط التلاصق . وثانيهما زيادة النسبة $\frac{f'}{f}$ بسبب تحطم طبقة الأكاسيد . ويعتبر الفرض الأول أكثر احتمالا .

ونخلص مما تقدم بأنه عند ضغط قطعتين من الصلب مع بعضهما البعض بضغط يبلغ $3,5 \text{ N/mm}^2$ فإن المساحة التى يتم عندها الالتحام تبلغ فقط ($0,4\%$) من مساحة السطح المشترك بينهما وهذه المساحات الملتحمة يصبح لها مقاومة تبلغ (700 N/mm^2) ويكون الكسر عندها كسرا قسيما (أى بدون تشكيل لدن) وبذلك تصبح مقاومة الكسر محسوبة على المساحة الكلية نحو ($2,8 \text{ N/mm}^2$) وبالرغم من ذلك فإن الملاحظ أن تماسك قطعتين ملتحمتين بهذه الطريقة لا يكون بقدر ذى قيمة تذكر حتى لو تجاوز الضغط قدر جهد حد الخضوع . ولإيضاح سبب الاخفاق فى الحصول على التماسك المنشود للوصله نعود إلى مناقشة وضع الإجهادات المرنة فى المناطق الحلقية حول جسر الالتحام فهذه المناطق الحلقية تكون فى حالة تلاصق دون تلاحم وتكون فى حالة إجهاد دون حد المرونة هذا بجانب وجود مناطق حول هذه المناطق الحلقية تخضع لظروف إجهاد مركبة تتضاءل تدريجيا حتى تصل إلى جهد منتظم يعادل مقدار الجهد المطبق على القطعتين كلما ابتعدنا عن سطح التلاصق المشترك بين القطعتين . وعند رفع الضغط المطبق فإن الجهد المنتظم الأخير يتلاشى تدريجيا . ونتيجة لذلك التلاشى (بانعكاس اتجاه الانفعال) نجد أن المناطق (البقع) التى التحمت (بسبب ارتفاع الجهد عندها فوق جهد الخضوع) تعود إلى الانفصال بفعل الإجهادات المرنة المخزونة حولها أى أن جسر الالتحام تتكسر واحدة تلو الأخرى وبالرغم من أنه يصعب معالجة حالة الاجهاد هذه رياضيا إلا أنه يمكن تبسيطها بطريقة

تقريبية تكفى لد راسة ظروف تماسك المعدن فى هذه المنطقة . وباعتبار أن مقاومة الكسر لجسور الالتحام تعادل مساحة مقطع الجسور مضروبا فى مقاومة المعدن لجهد الكسر الحقيقى للشد (وذلك بسبب وجود حالة الإجهاد ثلاثية المحاور (Triaxial) عند كل جسر .

ومن المعروف أن الطاقة المرنة اللازمة لتحطيم جسر التحام تتناسب طرديا مع ضغط اللحام المطبق (فى حدود تلاصق مداه مساحة السطح المشترك) وأن مساحة جسور الالتحام تتناسب مع مساحة التلاصق (معادلة 1 . 1) وبالتالى للضغط المطبق . وباعتبار أن مقاومة الكسر للمساحة الملتحمة يجب أن تزيد عن القوى أو الإجهادات المرنة (المتبقية) التى تحاول تحطيم الالتحام لكى يبقى ارتباط ما للجزئين الملتحمين بعد رفع ضغط اللحام . ويمكن صياغة ذلك فى العلاقات التالية :

$$\sigma_w = \sigma_B K_1 \left(\frac{2P}{\sigma_y} \right) \quad \dots (1.7)$$

$$\begin{aligned} \sigma_w &= \text{حيث مقاومة الشد للمساحة الملتحمة عبر الجسور} \\ \sigma_B &= \text{رر رر رر للمعدن الأصلى} \\ K_1 &= \frac{f'}{f} \end{aligned}$$

وتكون القوى المرنة (E) المحصورة عند سطح الانفصال وبجواره :

$$E = K_2 P \quad \dots (1.8)$$

K_2 = ثابت يتوقف على ظروف إجهاد المنطقة وللحصول على التحام متبقى بعد رفع ضغط اللحام لا بد أن يتحقق الشرط التالى :

$$2 K_1 P \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_y} \right) \geq K_2 P \quad \dots (1.9)$$

$$\frac{\sigma_B}{\sigma_y} \geq K \quad \dots (1.10) \quad \text{أى أن}$$

$$\frac{K_2}{2 K_1} = K \quad \text{حيث الثابت}$$

ويتوقف هذا الثابت على ظروف السطح (جودة صقلة وسمك الأكاسيد والرطوبة فوقه) .

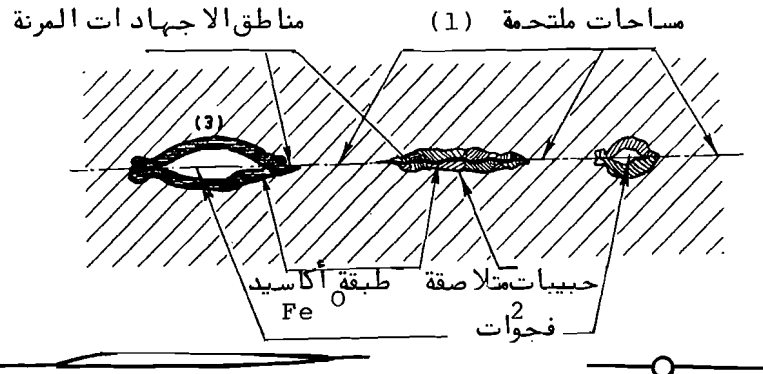
وقد بيد و للوهلة الأولى طبقا للمعادلة (9 . 1) ، (10 . 1) أى بعد حذف (P) أن أى قطعتين بجودة سطح معينة قد يتماسكا أولا يتماسكا بغض النظر عن الضغط الميسطريينهما (أو حتى بدون ضغط) ورغم أن هذا صحيح من الناحية العملية لكنهما إذا تماسكا فإن تماسكهما سيتوقف على الضغط المطبق ولو أنه لا يتناسب معه وينشأ الخطأ فى المعادلة (9 . 1) من حقيقتين أولهما: هو قيام الاحتمال الأكبر لتحطيم الأكاسيد نتيجة للتشكيل اللدن الذى يحدث عند السطح وبالتالي تزداد نسبة المساحة الملتحمة إلى الملتصقة. وثانيهما: أن الإجهادات المرنة المحصورة فى المساحة الحلقية حول بقع الالتحام لا يمكنها أن تتجاوز فى حدودها القصوى جهد حد الخضوع وهى بالتالى لن تتناسب مع الضغط المطبق فى هذا النطاق على الأقل . وكلا العاملين المذكورين سيجعلان الطرف الأيسر للمعادلة (9 . 1) يزداد بمعدل يفوق الطرف الأيمن عند الضغوط المرتفعة .

ونجد من ناحية أخرى من المعادلة (10 . 1) أن النسبة بين مقاومة الكسر للشد وجهد حد الخضوع تلعب دورا أساسيا فى الالتحام ونتيجة لذلك تكون المعادن اللدنة أقدر على الالتحام من تلك الصلدة (الرصاص النظيف السطح يلتحم بسهولة عند ضغطه بينما لا يتم ذلك بالنسبة لقطع الصلب بعد تنظيفها) . وإذا رتبنا المعادن بحسب صلابتها تصاعديا نجد أن مقاومة الكسر للشد تزداد ولكن جهد حد الخضوع يزداد بمعدل أعلى أى أن ($-\frac{\sigma_B}{\sigma_Y}$) تنخفض بازدياد الصلادة وبالتالي تقل قابلية الالتحام .

انتاج وصلات اللحام بالضغط على البارد :

لنلاحظ مما سبق مناقشته أن الأكاسيد السطحية للمعادن تتحطم (بسبب قسافتها) بمجرد ضغط هذه الأسطح بقصد لحامها ولا يقتصر الأمر على تقصفها أثناء الضغط بل تبدأ فى التجمع بتأثير الانفعال الحادث على السطح المعدنى (اللدن نسبيا) ومن هنا يبدأ تلاصق السطحين عند بعض المواقع بمساحات تتوقف على

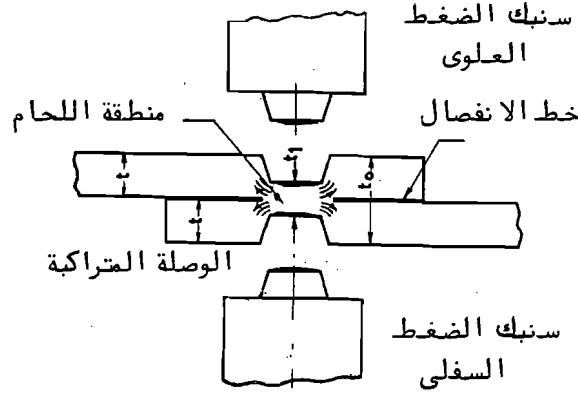
حد ما على الضغط المسيطر ويبدأ جزء من المساحات المتلاصقة في التلاحم . ولو أمكن ممارسة عملية تزليق السطحين أثناء الضغط (بتطبيق جهد قص) لتعرضت الأكاسيد لفرص التجمع والتكتل فسي تجمعات سميكة شكل (1 - 285) ومن ثم تتاح فرصة أكبر لمساحات أخرى للتلاصق وتلاحم أجزاء منها وهكذا وتقرب مقاومة الشد لهذه الالتحامات من مقاومة الشد للمعدن الأصلي .



شكل (1 - 285)

هذا من الناحية النظرية وهو أمر يصعب تطبيقه إلا على مستوى التجارب دون التطبيق العملي . إلا أنه أمكن الاستفادة جزئياً بهذه المبادئ في الحصول على وصلات ناجحة للحام الضغط على البارد وذلك بتطبيق الضغط على وصلات التراكب Lap - Joints باستخدام سنايك Punches ضغط مناسبة شكل (1 - 286) بحيث تسبب هذه السنايك عند ضغطها على الوصلة انفعالات شد عرضية عند خط الانفعال بجانب إجهاد الضغط المباشر . وهذه الانفعالات العرضية تصبح مناظرة لحركة الإزلاق السابق الإشارة إليها والتي تسبب تجمع وتكثر الأكاسيد وبالتالي إتاحة الفرصة لمساحات من نصف الوصلة للتلاصق عند خط الانفعال ثم التلاحم . وقد أمكن من الناحية العملية الحصول على وصلات متراكبة ناجحة لمعادن كثيرة أهمها الألومنيوم والنحاس النقي والكاديوم والقصدير والنيكل أو بازدا واجبات بينها أو بين أي منها والحديد . ويتوقف نجاح اللحام للمعادن المختلفة بهذا الأسلوب على عدة عوامل أهمها شكل طرف السنايك

وعمق الاختراق الحادث من السنيك (أو بمعنى آخر نسبة الانخفاض في السمك) أو النسبة بين t_1 لسمك الوصلة بعد اللحام وسمكها قبل اللحام $t_0 = 2 t$ ويطلق على هذه النسبة رقم الجودة أو الصلاحية Figure of Merit والجدول (1 - 243) يوضح رقم الجودة لبعض المعادن أو إزواجاتها بينها .

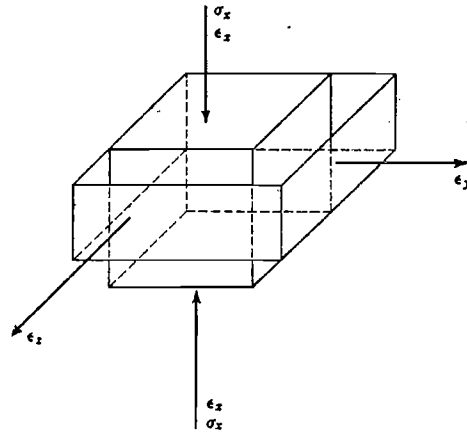


شكل (1 - 286)

جدول (1 - 286)

| رقم الجودة | المعدن |
|------------|-------------------------------------|
| 33 | ألومنيوم نقي (تجارى) |
| 30 | سبيكة ألومنيوم + 2 % مغنسيوم |
| 20 | دورالومين (ألومنيوم + 4,5 % نحاس) |
| 16 | كاديوم أو رصاص |
| 14 | نحاس نقي |
| 8 | حديد |
| 6 | فضة |
| 16 | ألومنيوم مع نحاس |
| 12 | ألومنيوم مع حديد |
| 6 | حديد مع نيكيل |

وبمراقبة منطقة الإجهادات تحت السنك نجد أن من الصعب تحليل هذه الإجهادات بصورة متكاملة بسبب القيود المفروضة على حرية الانفعالات إلا أنه يمكن بشيء من التبسيط إعطاء صورة تقريبية لظروف الإجهادات المختلفة فالإجهادات الناشئة عن ضغط السنك على الوصلة تكون إجهادات ضاغطة في اتجاه حركة السنك . وباعتبار جزء الوصلة الواقع تحت السنك وهو جزء منشوري الشكل (شكل 1-287) له حرية الانفعال في الاتجاهات الثلاثية الرئيسية وبافتراض تشابه خواص المعدن في هذه الاتجاهات الثلاثية Isotropic وباعتبار أن الإجهادات الثلاثية الرئيسية هي



شكل (1 - 287)

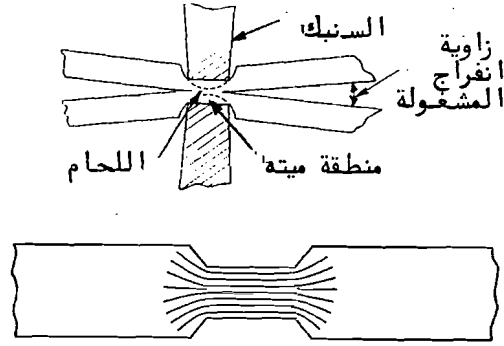
$$\begin{aligned} \sigma_x &= \text{جهد الضغط في اتجاه المحور } x \text{ (اتجاه حركة السنك)} \\ \epsilon_x &= \text{انفعال الضغط في اتجاه المحور } x \\ \epsilon_y &= \text{الانفعال في اتجاه المحور } y \\ \epsilon_z &= \text{الانفعال في اتجاه المحور } z \end{aligned}$$

وبتطبيق قانون اللدونة الأول الذي ينص على أن المجموع الجبري للانفعالات في الاتجاهات الثلاثة يساوي صفراً لأن الحجم لا بد أن يظل ثابتاً

$$\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z = 0 \quad \dots\dots (1.11)$$

وبغياب كل المعوقات للانفعال مع تساوي الخواص في الاتجاهات الثلاثة نجد أن

$$\epsilon_y = \epsilon_z = - \frac{1}{2} \epsilon_x \quad \dots\dots (1.12)$$



شكل (288-1)

أى أن انبساط المعدن فى الاتجاهات العمودية على اتجاه الضغط يعادل نصف مقدار الانفعال فى اتجاه الضغط وهى نتيجة تحتم زيادة مقدار الانفعال فى اتجاه الضغط بقدر وفير فى عمليات لحام الضغط على البارد .

ولما كان من الملاحظ أن مناطق اللحام التى تتصف بالانفعالات الشديدة تتصلد كنتيجة حتمية للانفعال فإن الالتحامات سوف تتصلد وتتحسن خواصها الميكانيكية بمقدار يجب الحرص عليه لى يعوض على الأقل الجزء المفقود فى المساحات غير المتحمسة أى أن

$$\sigma_{y_w} \cdot t_1 > \sigma_{y_b}^t \quad \dots\dots (1.13)$$

(باعتبار عرض الوصلة وحدة طول)

حيث :

$$\begin{aligned} \sigma_{y_w} &= \text{جهد الخضوع للحام} \\ \sigma_{y_b} &= \text{جهد الخضوع للمعدن الأصلية المكون للوصلة} \\ t_1 &= \text{سمك اللحام} \\ t &= \text{سمك المعدن الأصلية} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{y_w} &\geq \sigma_{y_b} \frac{t}{t_1} \\ \sigma_{y_w} &= \sigma_{y_b} \left(\frac{100}{2F} \right) \end{aligned}$$

حيث رقم الجدارة = Figure of Merit = F

ويتطبيق ذلك على لحام الألومنيوم الذي يبلغ رقم جدارته (33 %) نجد أننا نحتاج إلى زيادة جهد الخضوع في اللحام عن المعدن الأصلي بسبب التصلد بالانفعال بنسبة (150 %) وهو الأمر الذي يمكن التوصل إليه في عمليات اللحام إذا كان المعدن الأصلي لم يتعرض لتصلد سابق بالتشكيل على البارد كالدلفنة أو السحب أو البثق . وبالرغم من هذا التحليل النظري لاستكشاف ما يمكن أن يتوصل إليه من مقاومة لوصلات اللحام فإن الحصول على مقاومة لوصلة تعادل مقاومة المعدن للاجهادات أمر صعب التوصل إليه إنما يمكن الاقتراب منه بالعناية بعمليات التنظيف الأولية بالوسائل المختلفة للوصلة قبل ممارسة الضغط في عملية اللحام .

تطبيقات عمليات اللحام بالضغط على البارد :

لا توجد في الحقيقة حدود تحد استخدام اللحام بالضغط على البارد إلا في أنه يجب أن يتميز المعدن الأصلي بلدونة عالية ليقاوم النقص في سمكه بسبب الانفعال العنيف الذي يمارس أثناء اللحام ولكي تقل القوى اللازمة لإنجاز عمليات اللحام وما يتبع ذلك من مشاكل اختيار المواد المناسبة لسنابك الضغط والمعدات المساعدة .

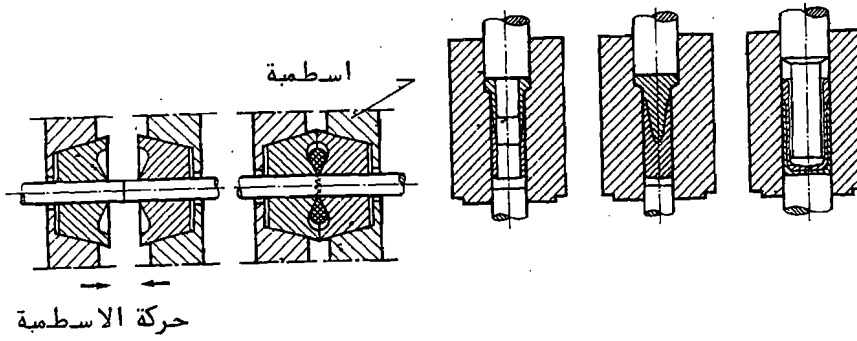
والتطبيقات الأساسية تنحصر في الوقت الحاضر في لحام الألومنيوم وسبائك وعمليات تغطية ألواح أو شرائط سبائك الألومنيوم (التي تتصف بخواص ميكانيكية عالية ولكن مقاومتها للتآكل منخفضة) برقائق من الألومنيوم النقي لاكتساب خواص مقاومة للتآكل ثم دلفنتها بقصد لحامها مع بعض بالضغط على البارد وهي العملية المعروفة بالكـلاد

Alclad

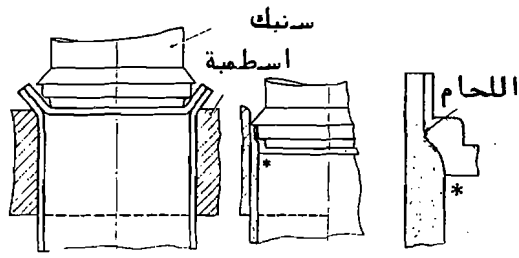
وهناك تطبيقات أخرى لإنتاج أنابيب الألومنيوم المنتجة من شرائط الألومنيوم بلفها ولحامها بالدرزة Seam Weld أو في عمليات

اللحام للمعالجات التي تقتضى ظروف محتوياتها عدم تسخينها وهناك أيضا التطبيقات الهامة فى لحام إزواج فى معادن مختلفة والتي تفشل فى وصلها عمليات اللحام بالتسخين بسبب الإجهادات الحرارية المتبقية الناشئة عن اختلاف معاملات التمدد والانكماش الحرارى لهذه الإزواج . وتتميز طريقة اللحام هذه بجانب ما ذكر بكونها لا تحتاج إلى مساعدات صهر أو اللحام Fluxes (بقصد التنظيف وإزالة الأكاسيد) بل يتم التنظيف بالطرق الميكانيكية وبالتالى تتلاشى المشاكل المترتبة على استخدام مساعدات الصهر مثل صعوبة إزالة بقاياها حتى لا تتسبب فى تآكل الوصلة وغير ذلك من المشاكل .

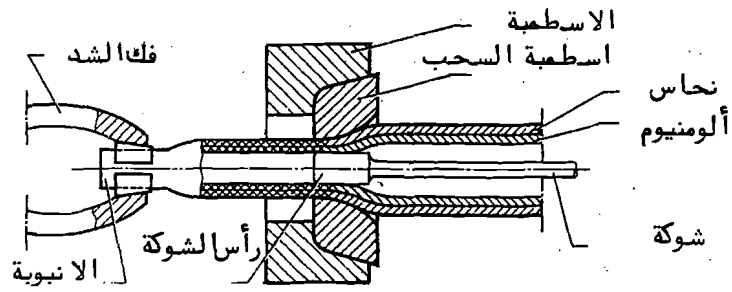
وشكل (1- 247, 248) يوضح تخطيطا لبعض التطبيقات العملية لعمليات اللحام على البارد (بالدقنة والسحب وبالكبس) كما يوضح شكل (1 - 248) عرضا لقابلية لحام أهم المعادن وازدواج لحامها مع المعادن الأخرى .



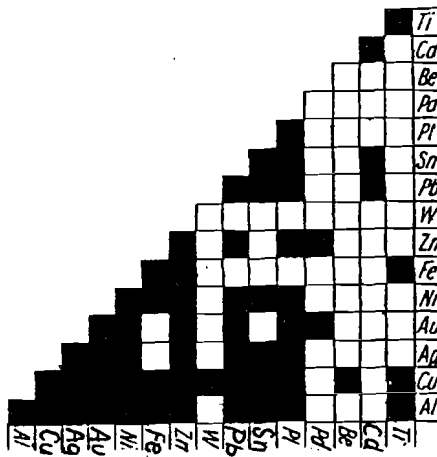
شكل (1 - 290)



في صناعة التعليب



شكل (1 - 291) في صناعة الأنابيب المزدوجة



شكل (2 - 291)

الباب الخامس

4 - استخدام الطاقة الحرارية والطاقة الميكانيكية

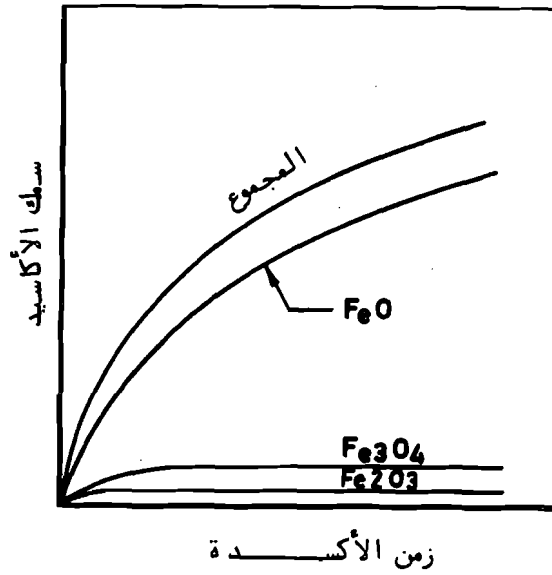
اللحام بالضغط على الساخن:

لما كانت المباديء الأساسية في اللحام بصفة عامة هي اقتراب الذرات السطحية للأجزاء المطلوب لحامها إلى الصفاة الكافية للارتباط الذرى بينها وأن ذلك يمكن أن يتحقق بإزالة المواد الغريبة والأكاسيد من السطح ثم اقتراب الأسطح لتحقيق الربط المنشود ، فقد أمكن تحقيق ذلك إلى حد ما بأسلوب اللحام بالضغط على البارد إذ لاحظنا أن إزالة الأكاسيد وأن الخواص الميكانيكية وبصفة خاصة وخواص المرونة تلعب دورا رئيسيا فى نجاح عملية اللحام أو إخفاقه . ولما كان اللحام بالضغط على الساخن لا يختلف عن اللحام بالضغط على البارد إلا فى ارتفاع درجة الحرارة أثناء عملية اللحام فإنه يجد ربنا دراسة تأثير درجة الحرارة على الأكاسيد السطحية وعلى خواص المرونة للأجزاء المطلوب لحامها .

تأثير درجة الحرارة على الأكاسيد السطحية :

إن من المعروف أن المعادن تغطى بطبقة تتفاوت فى سمكها من الأكاسيد المستقرة والمتزنة فى درجة حرارة الغرفة ويزداد سمك طبقة الأكاسيد بارتفاع درجة الحرارة إلا أنه يحدث فى بعض الحالات مثل النحاس والفضة وعند درجات حرارة مرتفعة معينة أن لا تصبح هذه الأكاسيد متزنة أو مستقرة بل تتحلل إلا أن ذلك لا يعنى أن الأسطح تصبح نظيفة كيميائيا عند هذه الدرجة فإن ذرات الأكسجين قد تبقى ملتصقة بالسطح . هذا بجانب أن بعض الغازات الأخرى التى قد تتواجد بالقرب من السطح مثل الهيدروجين وأول أكسيد الكربون - كل هذه الغازات لا تجعل السطح نظيفا من الناحية الكيميائية ومن ثم قد تعوق الالتحام كما سبق الإشارة إليه فى اللحام بالضغط على البارد .

أما في حالة الصلب فلا نجد أن الأكاسيد السطحية تتحلل بل يضطرب ازدياد سمكها بارتفاع درجة الحرارة - وشكل (1 - 293) يوضح أكاسيد الحديد بأنواعها الثلاثة المعروفة ومدى ازدياد سمك

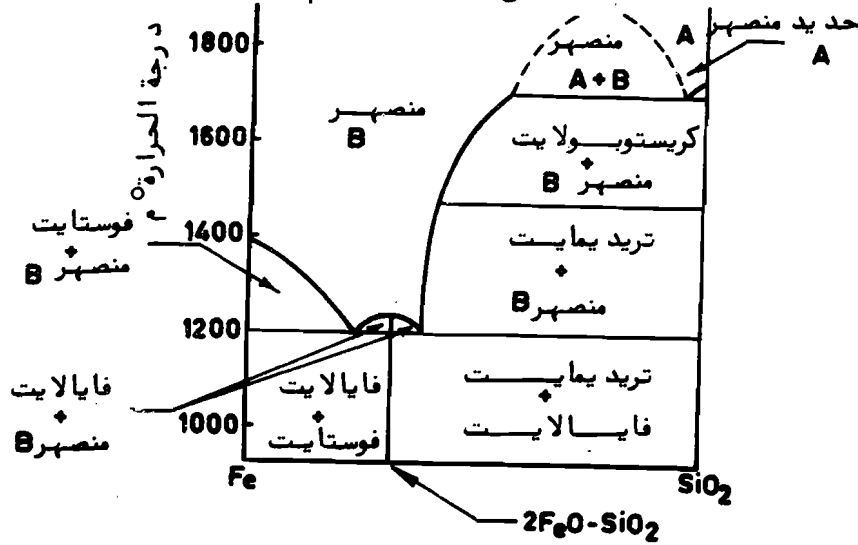


شكل (1 - 293)

كل منها بمضي الزمن عند درجة حرارة تعادل 700°C والذي نستنتج منه أن أكسيد الحديد FeO يكون أكثرها سمكا وأعنفها ازدياداً في السمك بمضي الزمن مع درجة الحرارة هذا بجانب تحول أكسيد الحديد من النوع Fe_3O_4 إلى النوع FeO

وهذه الأكاسيد يتحتم إزالتها لتحقيق الالتحام بالضغط عند درجات الحرارة المرتفعة. إلا أنه لا يجب أن يغرب عن الذهن في حالة اللحام التناكبي Butt على الساخن أن زيادة الأكاسيد لا تصبح أمراً قائماً طالما أن الأسطح المطلوب لحامها متجابهة ولا تتعرض للهواء أو الأكسجين ومن حُسْنِ الحظ أن عدداً كبيراً من أكاسيد المعادن مثل الحديد (ليس بينها الألومنيوم أو التيتانيوم أو الكروم) تنصهر عند أوقبيل درجة حرارة الانصهار المعدن الأصلي مباشرة فمثلاً أكسيد الحديد FeO ينصهر عند درجة حرارة 1420°C بينما ينصهر الحديد النقي عند نحو

1536 °C وتنخفض درجة انصهاره بزيادة نسبة الكربون (أنظر مخطط الاتزان الحرارى للحديد والكربون) وبانصهار هذا الأكسيد فإن الصلب يصبح مغطيا بطبقة من الأكاسيد المنصهرة (السائلة) التى يسهل إزالتها بالتسرب عند الضغط وبالتالي يمكن أن يتحقق تقارب الأسطح الخالية من الأكاسيد والتحامها بالضغط . ولما كان أكسيد الحديد ينصهر عند قرب انصهار الحديد فإن معدل تأكسد الحديد عند هذه الدرجة يزداد فيبدو سطح الحديد عند هذه الدرجة مطلقا للشرر (جزيئات سطح الحديد المتأكسدة) بجانب الأكاسيد المنصهرة والمتجمعة فى صورة نقط أو بحيرات (يطلق على ذلك عاميا بالعرق) إلا أنه يمكن من ناحية أخرى تخفيض درجة حرارة انصهار أكاسيد الحديد بإضافة مساعد صهر وهو الرمل (السليكا SiO_2) فبالنظر إلى مخطط الاتزان الحرارى لأكسيد الحديد والسيكا شكل (1 - 294) نجد أن أكسيد الحديد الفوستايت يتساكب مع المركب $2\text{FeO} - \text{SiO}_2$ العسمى فايالايت لتكوين سبيكة يوتكتيك التى تنصهر عند درجة حرارة 1200 °C . وبالتالي يمكن تخفيض درجة الحرارة التى يتم عندها اللحام بالضغط على الساخن إلى هذه الدرجة . وهذا ما يحدث فعلا فى حالة اللحام الحدادى إذ ينثر الحداد على سطح الحديد قليلا من الرمل بهدف خفض درجة حرارة انصهار أكاسيد السطح وإعداده للحام .



شكل (1 - 294)

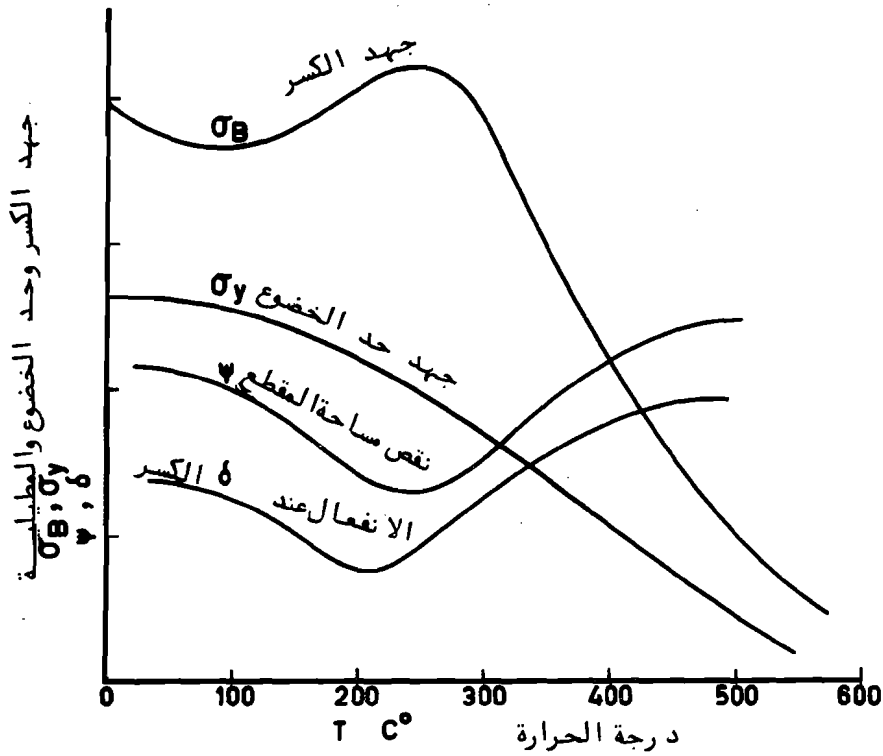
وفى أحيان أخرى يمكن التخلص من طبقة الأكاسيد السطحية للحديد بأسلوب آخر وهو بإضافة البوراكس الذى ينصهر عند درجة حرارة 740°C . حيث يذيب الأكاسيد ويكون الناتج سائلا يسهل إزالته . وهذا الأسلوب من إزالة الأكاسيد يختلف عن حالة إضافة الرمل بخفض درجة حرارة انصهار الأكاسيد بتكوين يوتكتيك معها، أما البوراكس فإنه يذيب الأكاسيد عند انصهاره ويمكن على هذا الأساس إيجاز أساليب إزالة الأكاسيد فيما يلى :

- 1 - برفع درجة الحرارة حتى درجة انصهار هذه الأكاسيد ذاتيا .
- 2 - بإضافة مواد تخفض من درجة انصهارها (تكوين يوتكتيك)
- 3 - بإضافة مواد تنصهر فى درجة حرارة منخفضة وتذيب هذه الأكاسيد عند هذه الدرجة .
- 4 - باختزال الأكاسيد بإضافة مواد مختزلة أو بتسخين الأسطح المؤكسدة فى جو مختزل (مثل الهيدروجين أو أول أكسيد الكربون) ولا يستخدم هذا الأسلوب فى لحام الضغط على الساخن للصلب .

تأثير درجة الحرارة على جهد الخضوع والاجهادات المرنة :

إن من المعروف أن جهد الخضوع للمعادن ينخفض بارتفاع درجة الحرارة شكل (1 - 296) وهذا يعنى أنه عند ضغط قطعتين من المعدن بقصد لحامها على الساخن فإن الضغط اللازم للحامها سينخفض وبمعنى آخر أنه إذا طبق ضغط مطابق للضغط اللازم للحامها على البارد فإن مساحة التلاصق ستكون أكبر عند ارتفاع درجة الحرارة عن تلك المساحة عند درجة حرارة الغرفة وبالتالي تزداد المساحة الملتحمة وذلك واضح من المعادلة (3.1) حيث تكون المساحة المتلاصقة مساوية للمقدار $f = \frac{2P}{\sigma_y}$ فبانخفاض جهد حد الخضوع σ_y نجد أن f تزداد .

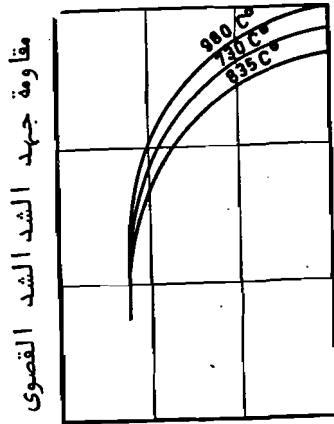
أما الإجهادات المرنة فإن مصيرها مثل مصير جهد حد الخضوع



شكل (1-296)
 إذ تنخفض بارتفاع درجة الحرارة شكل (1 - 296) وبالتالي فإن
 المتبقى من هذه الإجهادات يكون ضئيلاً بالإضافة إلى أن هذه
 البواقي الضئيلة تتلاشى وينتهي أثرها بفضل خواص اللدونة العالية
 التي يتمتع بها المعدن عند درجات الحرارة العالية وكذلك بسبب ما
 يحدث من إعادة التبلور عند هذه الدرجات .

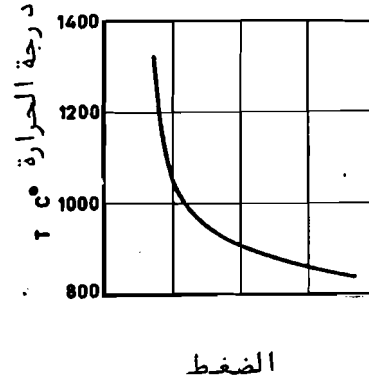
وفي عمليات اللحام بالضغط على الساخن يتوقف الضغط اللازم
 للحام على درجة حرارة الوصلة وشكل (1 - 297) يوضح درجة
 الحرارة المناسبة لعمليات اللحام بالضغط وعلاقة ذلك بجهد مقاومة
 الشد لمعدن الوصلة وشكل (2 - 297) يوضح الضغط المناسب
 لعمليات اللحام بالضغط وعلاقة ذلك بجهد مقاومة الشد عند درجة
 الحرارة المختارة من شكل (1 - 297) .

وفي حالات اللحام بالضغط سواء على البارد أو على الساخن
 نجد أن تلاقى الحبيبات السطحية عند سطح الانفصال لا يحدث
 بالضرورة أن يكون تلاقى هذه الحبيبات أو البلورات على مستويات



الضغط

شكل (297-1)



الضغط

شكل (297-2)

متوافقة (أى بتوافق فى اتجاه الخلايا) بل أن ذلك نادر الحدوث وبذلك يتشابه سطح الانفصال بعد تلاشيه باللحام وحدود الحبيبات داخل المعدن ذاته بالإضافة إلى احتواء حدود الحبيبات داخل المعدن ذاته لهذه الأكاسيد السطحية وبذلك تتشابه حدود الحبيبات هذه مع حدود الحبيبات للصلب المحترق (الذى تعرض للأكسدة بالتسخين الشديد لارتفاع درجة الحرارة) وما يتصف به من خواص ميكانيكية منخفضة بسبب هذه الأكاسيد القصيفة المحتواه على حدود الحبيبات ولو أن هذه الأكاسيد تكون عادة رقيقة فى سمكها (إذا كان السطح نظيفاً ميكانيكياً قبل الضغط) فلا تتجاوز 400 \AA ولا يتزايد أثناء اللحام حتى لو تمّ بالتسخين بسبب انعزال الأسطح المنضغطة عن الهواء إلا أنها رغم ذلك تقف عائقاً فى سبيل الالتحام الذرى المنشود ولا بد من تحطيم هذه الطبقات فى عدة نقاط أو بقع أو تيسير السبيل لها بالانتشار (Diffuse) وهذا ما يحدث فى غالب الأحيان فى اللحام بالضغط على الساخن فبارتفاع درجة الحرارة نجد أن أكسيد الحديد FeO سيتحلل إلى $\text{FeO} = \text{Fe} + \text{O}$ ومن ثم فإن الفرصة تكون متاحة للأكسجين المتولد للانتشار فى طبقات الصلب المجاورة طالما لم تكن هذه الطبقات مشبعة بالأكسجين ويزداد معدل الانتشار بارتفاع درجة الحرارة . شكل (1-255) .

وكما ذكر لا يعوق هذا الانتشار شىء اللهم إلا إثراء الصلب

بالأكسجين . ولذلك نجد أن الصلب المخمد (Killed Steel) أى الصلب المختزل من الأكسيد يسهل لحامه بالضغط على الساخن مقارنة بالصلب الحفافي (Rimmed Steel) أى غير تام الاختزال من الأكسيد ومن خلال انتشار الأكسجين المتولد من التحلل وتوقع البقية التى قد تبقى من الأكسيد وتكورها نجد أن نسبة كبيرة من المساحات المتلاصقة على سطح الانفصال يُتاح لها فرصة الالتحام ولإيضاح ذلك نتصور للتبسيط أن طبقة الأكسيد على شكل قمر صناعي مستدير بقطر (d) وارتفاع (h) فإن حجم هذه الطبقة

$$V_d = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot h \quad \dots\dots 4.1$$

وهذا الحجم سيتجمع إلى كرة بنفس الحجم فإذا كان قطر هذه الكرة هو D فإن الحجم هو

$$V_s = \frac{\pi}{6} D^3 \quad \dots\dots 4.2$$

وبمساواة الحجمين نجد أن

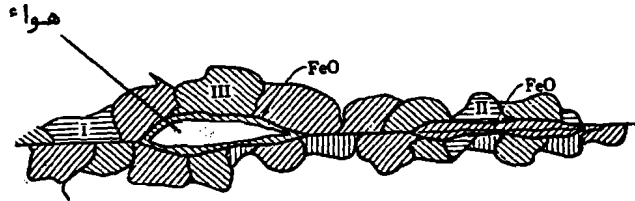
$$\frac{\pi}{6} D^3 = \frac{\pi}{4} d^2 h$$

فإن قطر الكرة سيكون

$$D = \sqrt[3]{\frac{3}{2} d^2 h} \quad \dots\dots 4.3$$

وحيث أن الفرق بين مساحة سطح الأكسيد قبل وبعد التأكسد معادلاً

$$A = \pi d \left[\frac{d}{2} + h \left(1 - 1.3 \sqrt[3]{\frac{d}{h}} \right) \right] \quad \dots 4.4$$



شكل (1 - 298)

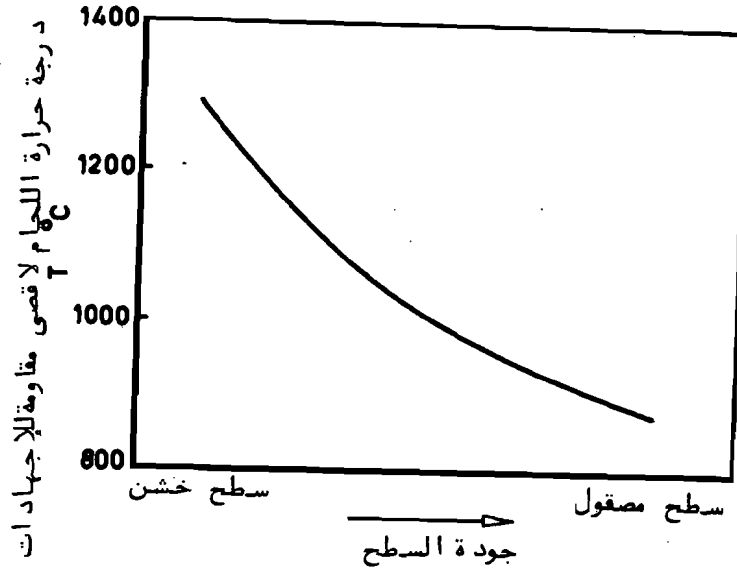
وهذه المساحة هي القدر الذى يمكن اكتسابه نتيجة لتكور الأكاسيد وكلما زاد قطر الأكاسيد وقل سمكها كلما ازدادت نسبة المساحة المكتسبة والتي يتم عندها الالتحام لأن المساحة السطحية للأكاسيد قبل التكور تعادل

$$\left(\frac{2}{3} \cdot \frac{d}{h} \right)^{\frac{2}{3}}$$

مرات مساحة مقطع الكرة فإذا كانت النسبة $\frac{d}{h}$ تعادل (100) فإن المساحة التى ستحتلها الأكاسيد بعد التكور تعادل (6 %) فقط من تلك التى كانت تحتلها قبل التكور بجانب انتشار الأكاسيد قبل وأثناء التكور مما يؤدى إلى الاقلال من هذه النسبة إلى حد كبير وبالتالي زيادة مساحة الالتحام وزيادة مقاومة الوصلة للإجهادات .

هذا لا يعنى أن الالتحام على سطح الانفصال كله أوجله فيجب أن لا ننسى تواجد جيوب تحتوى على هواء بداخلها (لم يستطع الهروب عند تطبيق الضغط) ، وهذا الهواء يتحلل بمحاولة أكسجينه التفاعل مع سطح المعدن داخل الجيب . فلا يبقى داخله إلا غاز النيتروجين الذى يتحلل بدوره إلى نيتروجين ذرى $N_2 = 2 N$ يجد فرصته هو الآخر لذوبان معظمه بالانتشار داخل الصلب وبذلك تتاح الفرصة لهذه الجيوب للانطباق (أو الانغلاق) والتلاشى خاصة إذا كان حجمها صغيراً .

أما إذا كانت كبيرة الحجم فإن معدل إغلاقها يكون بطيئاً . ولجعل هذه الجيوب صغيرة الحجم من البداية لا بد من الاهتمام بجودة السطح قبل الضغط وشكل (1 - 300) يبين تأثير جودة السطح قبل اللحام على مقاومة الوصلة للإجهادات بعد اتمام اللحام (بتحديد درجة الحرارة التى يتم عندها اللحام لأكبر مقاومة للإجهادات بالوصلة) حيث تزداد درجة الحرارة اللازمة لإتمام اللحام فى الأسطح الخشنة وتقل فى الأسطح المصقولة .



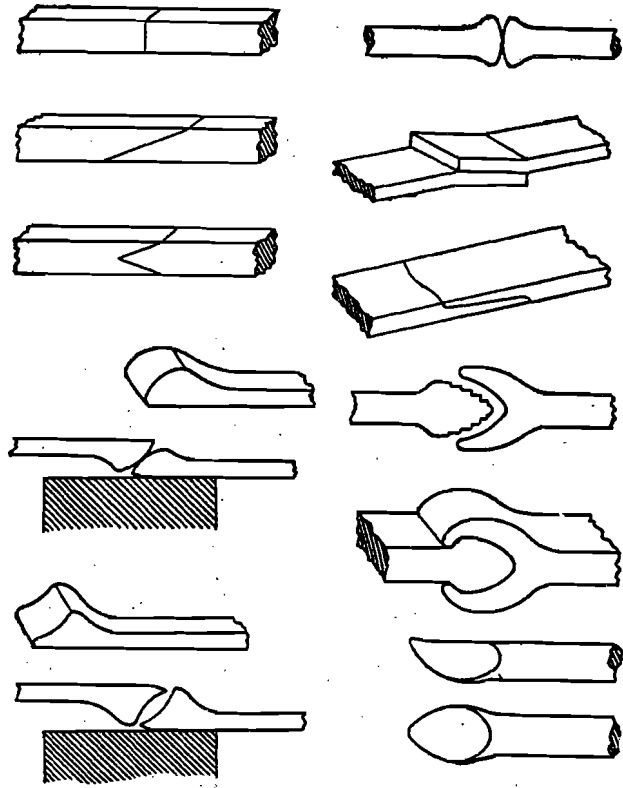
شكل (1 - 300)

استخدام الطاقة الكيميائية في التسخين (تفاعل طارد للحرارة)

أولاً : اللحام الحدادي Forge Welding

تُعتبر هذه الطريقة أقدم طرق اللحام على الإطلاق. وفيها يتم تسخين طرفي الوصلة إلى درجة حرارة مرتفعة تعرف بدرجة حرارة اللحام (تحدد حسب نوع معدن الوصلة) وذلك باستخدام تفاعل كيميائي بين وقود ما والأكسجين أو الهواء الجوي وفي ورشة الحداد يتم التسخين في كبر الحداد باستخدام الفحم الحجري كوقود والهواء المضغوط (من مروحة أو نافخ للهواء) ويستدل على درجة الحرارة الصحيحة المناسبة للحام بظهور طبقة رقيقة منصهرة على سطح الحديد المتوهج فيما يشبه العرق وهذه الطبقة هي أكسيد الحديد المنصهر. ويتم تجهيز الوصلات بأشكال مختلفة حسب نوع الوصلة إلا أن المبدأ العام الذي يشترك فيه جميع أطراف الوصلات سواء كانت

تراكبية أو تناكبية هو أن سطح التلامس الأولي محدب بحيث يتم التلامس أولاً عند بقعة صغيرة تتسع بالطرق أو بالضغط وتتيح فرصة لطرده الأكاسيد للخارج فلا تحتوى في داخلها . ويتم الطرق أو الكبس في حدود درجات الحرارة المقررة لمعدن الوصلة ويوضح شكل (1 - 301) أشكال الوصلات الرئيسية الشائعة



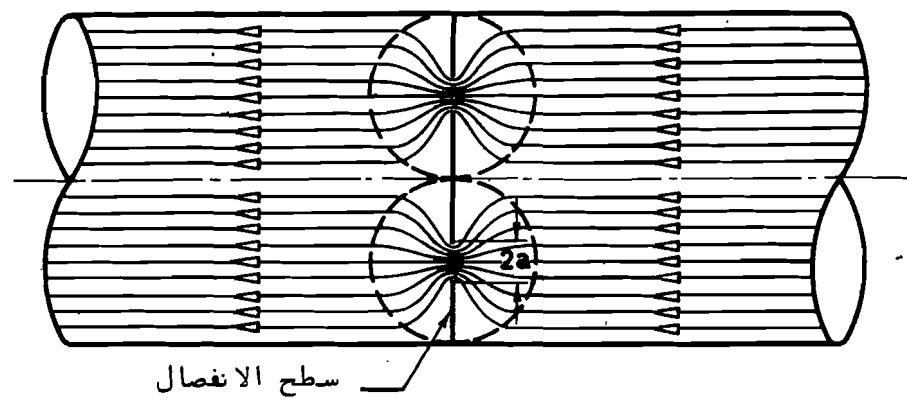
شكل (1 - 301)

ويمكن أن يتم التسخين من ناحية أخرى باستخدام لهب الأكسجين أستلين في تسخين طرفي الوصلة وتركيز الحرارة عندها .

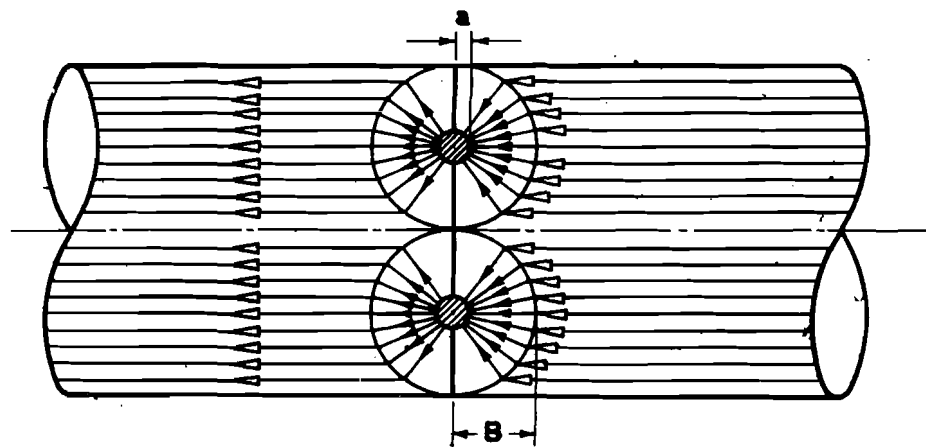
اللحام بالتسخين بالمقاومة الكهربائية والضغط :

Electric Resistance Pressure Welding

فى هذه الطريقة يتم التسخين إلى درجة حرارة اللحام المطلوبة باستخدام الطاقة الكهربائية وتحويلها إلى طاقة حرارية وذلك بمرار تيار كهربائى عبر خط الانفصال وقبيل ممارسة الضغط الرئيسى اللازم لإتمام اللحام ومن خلال المقاومة التى يصادفها التيار الكهربائى عبر خط الانفصال فإن الطاقة الكهربائية تتحول إلى طاقة حرارية . ولإمكان دراسة فيزيائية مقاومة مرور التيار عبر سطح الانفصال بين القطعتين المطلوب لحامهما بالضغط نعيد تصور تلامس سطحين عند ضغطهما على البارد حيث تصبح مساحة التلامس متناسبة مع النسبة $(\frac{2}{\sigma_0})^{\frac{1}{2}}$ من المساحة الكلية وجزء ضئيل من هذه النسبة هو الذى يصبح فى حالة التماس. أما الجزء الباقي فهو تلامس يفصله طبقات الأكاسيد فى صورة جيوب تحتوى عليها وعلى كميات من الرطوبة . وباعتبار أن الأكاسيد المعدنية فى درجة حرارة الجو وكذلك الرطوبة لا تعتبران موصلة للكهرباء فلا يبقى للتيار الكهربائى من سبيل للمرور إلا من خلال المواقع أو النقاط أو البقع الملتحمة معدنياً (الجسور) وبذلك تزداد المقاومة لمرور التيار بسبب هذه العوائق (الأكاسيد والرطوبة على سطح الانفصال) مقارنة بالمقاومة الضئيلة المتوقعة عند غياب سطح الانفصال بما يحتويه ولذلك يطلق على المقاومة الكهربائية عبر سطح الانفصال بمقاومة التلامس Contact Resistance وهى المقاومة التى يعانىها التيار بسبب الاختناقات التى يصادفها فى مساره وشكل (1 - 303) يوضح تخطيطاً لمسار التيار الكهربائى عبر الاختناقات على مستوى سطح الانفصال وللتبسيط يمكن إعادة تقريب مسار خطوط التيار لتصبح مسارات هندسية (خطوط مستقيمة) شكل (2 - 303) ليسهل تحليلها رياضياً وفى الشكل الأخير



شكل (1 - 303)



شكل (2 - 303)

يفترض أن جسور الالتحام تأخذ شكل أقراص مستديرة رقيقة بنصف قطر قدره (a) وبسمك ضئيل يمكن إهماله (على الأقل عند حساب المقاومة الكهربائية) وأن مراكز هذه الجسور تبتعد عن بعضها البعض بمسافة متوسطها (2 B) وأن هذه المسافة تمثل في الحقيقة قطر كرة مركزها هو جسر الالتحام (قرص جسر الالتحام يقع في الحقيقة على المستوى الاستوائى لكرة نصف قطرها (a) وبإهمال المقاومة الكهربائية خارج منطقة هذه الكرات (مقاومة المعدن ذاته) وبحساب المقاومة الكهربائية لوحدة المساحة لعدة عوائق كروية كهذه وليكن عددها (n) ومقارنتها بمقاومة المعدن بمساحة مربع على سطح الانفصال قدره (2 n B) وبسمك قدره (2 B) فإن الفرق بين المقدارين سيكون مقاومة التلاصق لوحدة المساحة حسب التعريف السابق ذكره . ولكون هذه الكرات يتمركز فيها جسور مرور التيار فإن سطحها يمثل المحل الهندسى للنقاط متساوية الجهد الكهربائى ولو اعتبرنا وحدة المقاومة الكهربائىة للمعدن هي (ρ) وأن متوسط مساحة مقطع المسار هو (S) وطول المسار هو (B - a) فإن المقاومة الكلية (R) على طول المسار ستكون

$$R = \frac{\rho (B - a)}{S} \quad \dots\dots 4.5$$

ولما كان مقطع المسار متغيرا على مدى طوله فسيكون مقداره عند جسر الالتحام (2 π a²) ويكبر عند سطح الكره 2 π B² أى أن المتوسط سيكون

$$\sqrt{2 \pi B^2 \cdot 2 \pi a^2} = 2 \pi B a$$

$$R = \frac{\rho (B - a)}{2 \pi B a} \quad \text{ستصبح :} \quad \dots\dots 4.6$$

ولما كانت (a) صغيرة جدا بالنسبة لنصف القطر (B) فإن المقاومة ستؤول إلى

$$R = \frac{\rho}{2 \pi a}$$

والمقاومة الكلية لعدد (n) من الاختناقات ستكون :

$$R = \frac{\rho}{\pi n a} \quad \dots\dots 4.7$$

أما فى حالة غياب سطح الانفصال فإن المقاومة ستكون :

$$R_1 = \frac{\rho \cdot 2 B}{4 n^2 B^2} = \frac{\rho}{2 n^2 B} \quad \dots\dots 4.8$$

ولما كانت B كبيرة جدا بالنسبة لنصف القطر (a) وعدد الاختناقات (n) أكبر من (1) وبالتالي فالمقدار كله للمقاومة R_1 سيكون مهملًا ومن ثم فإن مقاومة التلامس ستصبح هى المقدار .

$$R = \frac{\rho}{\pi n a} \quad \dots\dots 4.9$$

هذه النتيجة أمكن التوصل إليها تحت الفروض التالية :

- 1 - انتظام حجم جسور الالتحام -
- 2 - انتظام المسافات بين مراكز الجسور .
- 3 - أن تكون الجسور مستديرة فى مقطعها .
- 4 - أن تكون حدود معوقات التيار (انحراف المسار) داخل حجم كروى شكل (2 - 303) .

وقد أثبتت التجارب العملية أن الفروض الثلاثة الأولى لا يتجاوز حد ود الخطأ بها (% 10 -) أما الفرض الرابع فيعطى خطأ فى حد ود (% 5 -) أى أن مجموع التجاوزات بين المقاومة المقاسة والمقدرة رياضيا لا يتجاوز (% 15 -) وبذلك تصبح المقاومة

$$R = \frac{0.85 \rho}{n a} \quad \dots\dots 4.10$$

ولما كانت مساحة التلامس متناسبة مع الضغط المسيطر (% $\frac{c}{\sigma_y}$) حيث (c) عدد ثابت صغير وأن عدد جسور الالتحام يتوقف على جودة السطح فإننا نجد أن السطح المصقول سيحتوى عددا كبيرا من الجسور الصغيرة بينما يحتوى السطح

الخشن على عدد ضئيل من الجسور الكبيرة (فى مساحة مقطعها)
أى أن

$$\frac{c}{\sigma_y} P = \pi a_n^2 \quad \dots\dots 4.11$$

وبالتعويض (10) فإن

$$R = 0.85 \frac{\rho_{a.y} \sigma_y}{c P} \quad \dots\dots 4.12$$

ولما كانت المعادلة 4.12 قد افترض فيها أن نصف قطر
الجسر الواحد لا يتغير بزيادة الضغط بل يزداد فقط عدد
هذه الجسور إلا أننا لو افترضنا العكس أى أنه بزيادة الضغط
(P) تزداد بالتناسب مساحة مقطع الجسور ويظل عدد هـا
ثابتا فأننا نحصل على العلاقة التالية من المعادلات
(4.10)(4.11)

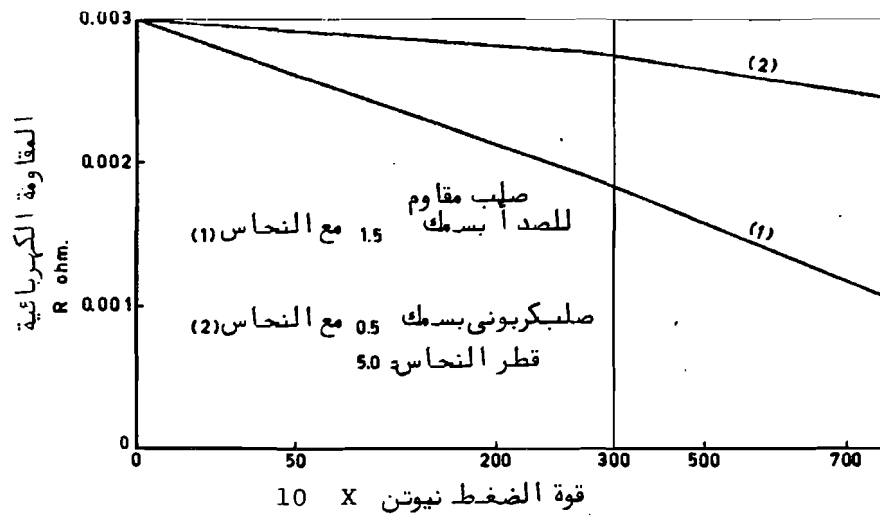
$$R = 0.85 \rho \sqrt{\frac{\sigma_y}{\pi n c P}} \quad \dots\dots 4.13$$

وقد ثبت صلاحية العلاقة الأخيرة (4.13) فى حالات لحام
المعادن الثقيلة عند ضغوط تتراوح بين 70 % ، 30 %
من جهد الخضوع (σ_y) أما لو تجاوزت الضغوط حد الخضوع
فإن المعادلة 4.12 تكون أكثر انطباقا حيث تقل المقاومة
بزيادة الضغط (علاقة تناسبية) أما فى المعادن الخفيفة مثل
الألمنيوم فإن كلا العلاقتين لا ينطبقان ربما بسبب ازدياد
سُمك الأكاسيد وشكل (1 - 307) يوضح العلاقة بين الضغط
والتوصيلية الكهربائية للتلامس للصلب المقاوم للصدأ وللصلب
الكربونى الطرى مع أقطاب من النحاس (الأحمر)والذى يتضح فيه
العلاقة الخطية بين الضغط (P) وتوصيلية التلامس (R)
بتطبيق المعادلة 4.13 والتي يمكن وضعها فى الصورة .

$$C = \frac{1}{K_1 \sqrt{P}} \quad \dots\dots 4.14$$

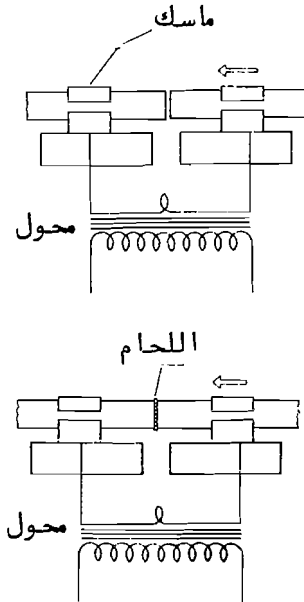
$$\frac{1}{R} = \text{التوصيلية} = C$$

وذلك حتى حد ود ضغط (P) يعادل 3000 نيوتن .



شكل (1 - 307)

أثر ارتفاع درجة الحرارة على مقاومة التلامس:



شكل (2 - 307)

تبلغ شدة التيار المستخدم
في اللحام بالمقاومة الكهربائية
في المعتاد نحو
 $100\,000\text{ A/cm}^2$
ومقاومة التلامس (على البارد)
التي تم مناقشتها كانت مقدره
على أساس استخدام تيار
شدته في حدود (10)
أمبير ولا يمكن توقع ثبات
المقاومة بين هذه الحدود
بسبب ما يحدث من تغيرات
حرارية . ولو تصورنا تطبيق

جهد قدره (5 V) (الجهد المستخدم في لحام المقاومة — المعتقد) على طرفي قطعة كالمبينة في شكل (2 - 264) وافترضنا وجود (25) جسر التحام لكل سم² وكانت مقاومة التلامس تبلغ $0,002 \text{ Ohm/cm}^2$ (أى 0,05 لكل جسر) .

أى أن كل جسر سيحمل (100 A) ويولد طاقة $(I^2 R = 500W)$ أو (418) جول في الثانية . وباعتبار B . في شكل (2 - 303) تعادل 1 mm أى بحجم كـ $(\frac{4}{3} B^3 = 0,004 \text{ cm}^3)$ فإن الطاقة المتولدة من (25) جسرا ستعادل (500 W) وستكفى لصهر حجم الكرة في زمن قدره (0,001 s) وبإهمال المفايد الحرارية خارج الكرة . أى أن سطح الانفصال سيتعرض للانصهار في زمن لا يتجاوز (0,001 s) .

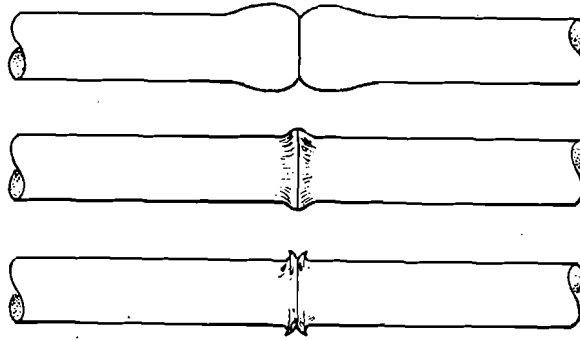
هذا باعتبار احتفاظ الكرات بشكلها ومقاومتها في هذه الفترة . وهو أمر يحدث حقيقة في لحام الوميض (Flash Welding) والذي يمارس فيه التسخين بمقاومة التلامس بالضغط المنخفض . أما في حالات اللحام باستخدام الضغوط العالية فإن الأمر يختلف ففي خلال تلك الفترة الصغيرة من الزمن (0,001 s) تحدث تغيرات جوهريّة في مقدار المقاومة الكلية للمعدن بسبب ارتفاع درجة الحرارة . فبعض العوامل تزيد مقاومة التلامس (في بادئ الأمر) وبعضها يقللها (في المراحل التالية) . إلا أن الانخفاض يغلب على الزيادة في النهاية فتصل إلى (0,1) من قيمتها الأولى هذا بجانب انخفاض جهد الخضوع (σ_y) بارتفاع درجة الحرارة كما سبق الإشارة إليه وبالتالي تزداد مساحة التلاصق .

لحام المقاومة الكهربائية التناكبي (قوة في قوة) :

Resistance Butt Welding

في هذه الطريقة من اللحام تواجه جبهتا القطعتين المطروبتين (1/10) (تناكبيا) بالضغط عليها محوريا بضغط يعادل (1/10)

جهد الخضوع (σ_y) ثم يمرر تيار كهربائي بقدر يكفي لصهر سطح الانفصال . فتتخفص المقاومة انخفاضاً كبيراً في أول الأمر . ويستمر ذلك بزيادة مساحة التلامس وتجمع وتكور الأكاسيد وانتشارها إلى داخل المعدن . إلا أن المقاومة الكلية للمعدن بالقرب من سطح الانفصال تزداد (بارتفاع درجة الحرارة) وبالتالي فإن توليد الحرارة سيكون مركزاً أساساً في منطقة سطح الانفصال . ويستمر إمرار التيار الكهربائي في هذه الطريقة لعدة ثوان لا تكفي لإتمام انتشار الأكاسيد المنشود ولكن يكفي لتسخين طول كاف من طرفي الأجزاء المطلوب لحامها يعادل ثلاثة أمثال القطر (أو الشخانة) وبعد ذلك يقطع التيار ويطبق الضغط الرئيسي الذي يكفي للفلطحة (Up Setting) كما في شكل (1 - 309) حتى تتضاءف مساحة المقطع عند سطح الانفصال . ويمكن الاستفادة من الفلطحة



شكل (1 - 309)

الحادثة لزيادة مقاومة الوصلة للإجهادات بسبب زيادة مساحة المقطع أو إزالتها إن وجدت ضرورة لذلك وفي هذه الحالة تنخفض مقاومة وصلة اللحام إلى نحو (90 %) من مقاومة المعدن الأصلي بسبب بواقي الأكاسيد المتكورة التي لم تتح لها فرصة الانتشار في هذا الزمن القصير وبسبب تغلظ

حبيبات المعدن في منطقة اللحام ولا ارتفاع درجة الحرارة التسخين عندها وبالتالي فقد جزء من مطيليتها .

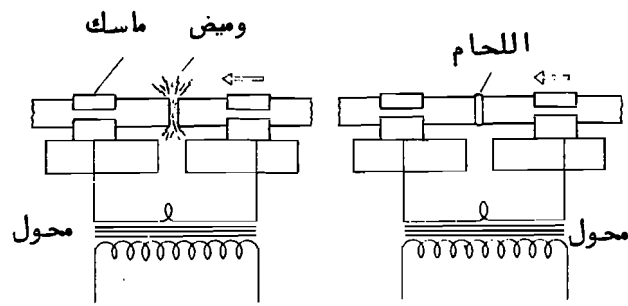
لحام التناكب الوميضي Flash Butt Welding

لا يختلف أسلوب اللحام بهذه الطريقة في كثير من لحام التناكب

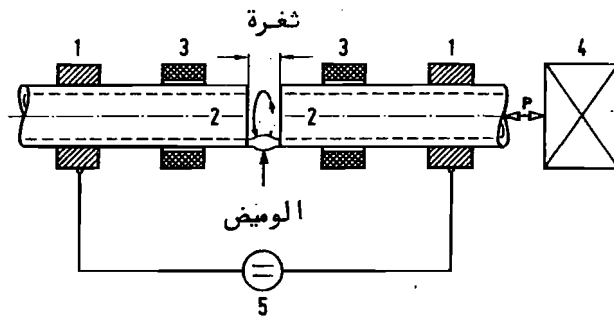
بالمقاومة السابق الإشارة إليه ففى هذه الطريقة والتي لا تحتتم أن تكون المشغولة متساوية المقاطع تمسك الشغلة بماسكين على الممكنة (يمثلان الإلكترودات) ثم يحرك أحد الماسكين الحامل لطرف من المشغولة فى مجابهة الطرف المقابل للمشغولة (الثابت) وعند التماس نجد أن سطح التماس يتعرض للتسخين السريع فلا يصحـر سطح الانفصال فقط بل ما يلبث أن يغلى بسبب ارتفاع الجهد الكهربائى المطبق بواسطة الإلكترودات (مقارنة بلحام المقاومة) فيبثق المنصهر إلى الخارج حاملا الأكاسيد السطحية والمواد الغريبة فتتعرض الدائرة الكهربائية للانفصال للحظة بسبب وجود شغرة مكان المنصهر ثم يستمر اقتراب طرفى الوصلة فتعود بعض النقاط على السطح للتلاصق مرة أخرى وتكرر هذه العملية تلقائيا لفترة حتى يتم تنظيف السطح تماما مع وجود طبقة منصهرة رقيقة عنده . وعند هذه اللحظة يخفـض الجهد الكهربائى المطبق ويضغط طرفا الشغلة بعنف فيطرد المنصهر المتخلف وتتفلطح الشغلة بعض الشيء عند سطح الانفصال السابق بتأثير الضغط . وفى هذه الطريقة من اللحام يحتاج الأمر إلى التحكم فى معدل اقتراب الشغلة بعناية كافية ولو أن هذه العملية تعتبر ذاتية التحكم (فى حدود ضيقة) فلو أن الاقتراب كان بطيئا فإن الفترات بين الومضات الحادثة ستكون متباعدة الأمر الذى يعرض سطح الانفصال لإعادة تأكسده أما لو كان معدل الاقتراب سريعا فإن نقاطا من الالتحام ستنشأ أسرع من الزمن اللازم للتخلص من طبقة الأكاسيد الأمر الذى يؤثر على جودة اللحام وفى معظم مكثات اللحام التناكبى بالومض يكون الاقتراب بمعدل ثابت ولو أن الاتجاه فى المكثات الحديثة هو التحكم فى الاقتراب بحيث يتم بصورة متزايدة . شكل (2, 1-311)

اللحام بالصد م الكهربائى الميكانيكى Percussive Welding

تستخدم هذه الطريقة من اللحام بصفة خاصة فى لحام المعادن أو السبائك الحساسة لارتفاع درجة حرارتها (مثل القابلة للتصليد بالمعاملات الحرارية) والمعادن جيدة التوصيل للكهرباء مثل الفضة والنحاس والتي لا يمكن لحامها بالمقاومة الكهربائية أو المعادن غير



شكل (1 - 311)



لحام تناكبي تمارس فيه حركة المشغولة ملف مغنطيسي (3)
 1 - ماسك المشغولة 2 - المشغولة 4 - الأسطوانة الضاغطة
 5 - مصدر التيار

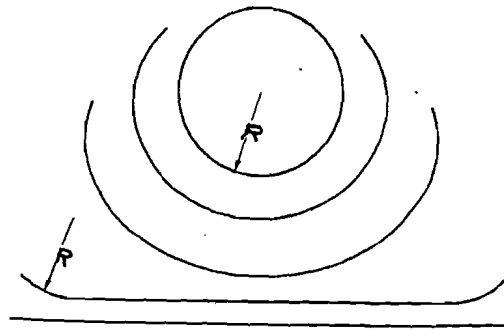
شكل (2 - 311)

المتشابهة . ولا يمكن لحامها بالمقاومة الكهربائية . أو المعادن غير المتشابهة .

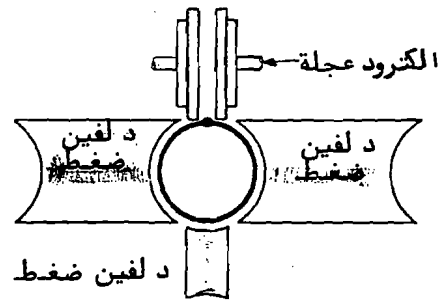
وفى هذه الطريقة يوصل طرفا المشغولة بطرفي مكثف (مجموعة من الكثافات) المشحونة دون أن يدخل فى الدائرة أى محول كهربائى وبالتالى تتضاءل المقاومة والممانعة للدائرة . ومن الناحية الميكانيكية يكون تثبيت طرفى المشغولة عن طريق ساقطة تقع تحت ضغط هوائى أو ضغط نابض (ياي) لكى تعطى هذه حركة سريعة لطرفى المشغلة عند تحريك الساقطة وبالتالى تفريغ شحنتى المكثف فينشأ قوس كهربائى بتردد عال عبر الثغرة التى تتكون قبيل لحظة التلامس بين طرفى المشغولة . ويتسبب هذا القوس فى صهر سطحى طرفى المشغولة فى فترة (0,001 s) بجانب تسبب ضغط الغازات المتعددة وبخار الصهر فى التحكم فى معدل الاقتراب النهائى (الصدم) وبالتالى يتم التحام سطحى المشغولة بصدمة ميكانيكية كهربائية دون أن تعطى فرصة لامتداد منطقة التسخين داخل المشغولة .

لحام الدرزة التناكبي (اللحام الخطى) Butt Seam Welding :

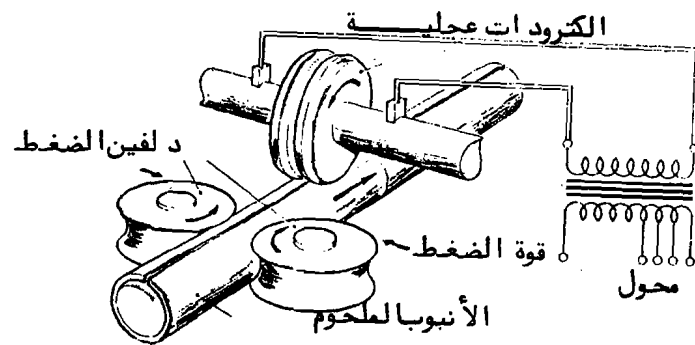
ويستخدم أساسا فى إنتاج الأنابيب والمواسير الملحومة أو الألواح بأسلوب الدرز بالفلطحة المستمرة . ويستخدم لذلك خاص أو ألواح بعرض يتراوح بين 15 cm , 300 cm يصير تشكيلها بالثنى بين دلافين متدرجة حتى تصل فى النهاية إلى الشكل الأسطوانى كاملا الاستدارة شكل (1,2-270) وتقوم دلافين المرحلة النهائية بمهمة الضغط على محيط الأنبوب شكل (1-314, 3-313) ثم يمرر تيار اللحام عن طريق إلكترودات نحاسية على شكل عجلات وتبلغ شدة التيار المستخدم حدود 100 000 A (تيار مستمر و تردد) فيمرر معظم تيار اللحام عبر خط الانفصال ليقوم بمهمة التسخين بالأسلوب السابق الإشارة إليه ويمر جزء من هذا التيار حول محيط الأنبوب . وتقوم دلافين الضغط بمهمة عملية الفلطة المستمرة مع مرور تيار



شكل (313-1)

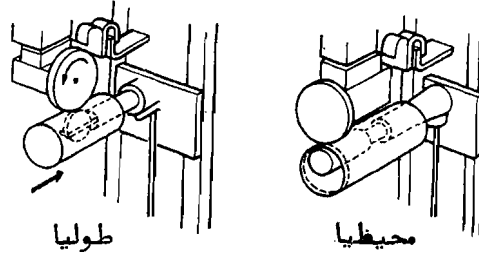


شكل (313-2)



شكل (313-3)

اللحام ويمكن بهذا الأسلوب الحصول على وصلات لحام درزة تناكبيى
بجودة تصل إلى (100 %) بالتحكم فى الضغط وشدة التيار وسرعة
الدرز .

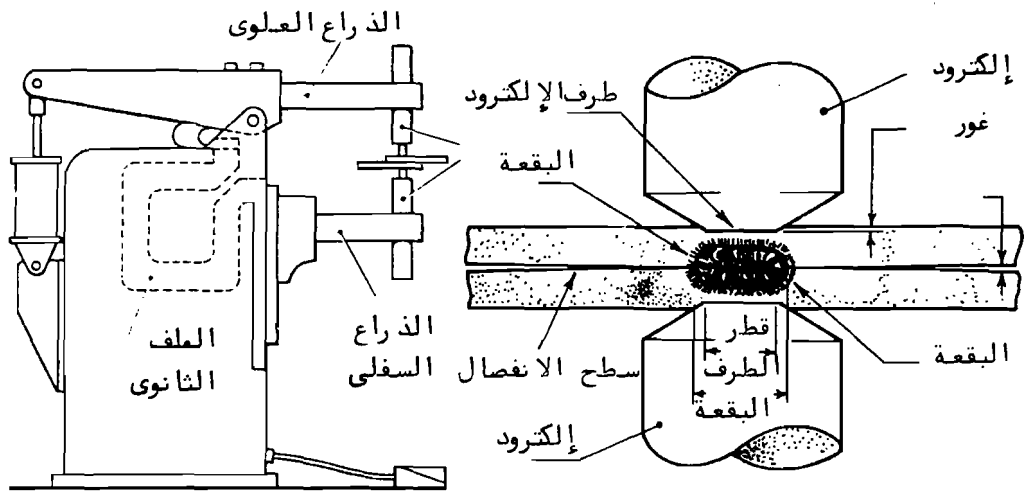


اللحام الخطى للأنايب
شكل (1-314)

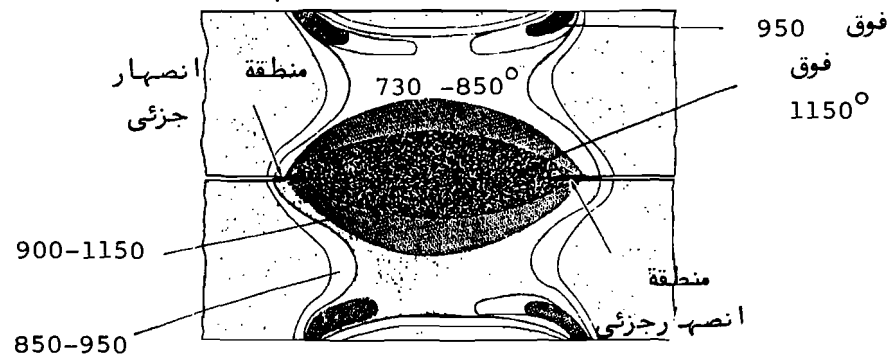
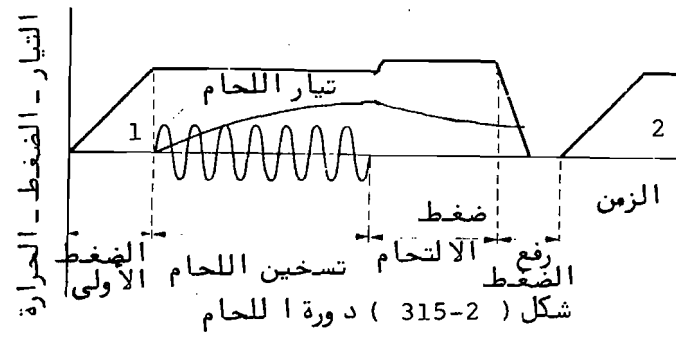
لحام البقعة ولحام التتوءات ولحام الدرز التراكيى :

Spot, Projection and Lap Seam Welding

فى لحام البقعة تستخدم إلكترودات من النحاس للضغط على
الألواح المطلوب لحامها بالبقعة بأسلوب التراكب شكل (1, 2, 3-315)
وإمرار التيار اللازم للحام عن طريقها ويتم الضغط وإمرار التيار ثم
قطع التيار وممارسة الضغط الرئيسى اللازم للحام
(Forging Pressure) ثم رفع الضغط لإزالة الوصلة وذلك
فى دورة لحام خاصة يتم التحكم فى عناصرها مع الزمن لكل بقعة لحام.
ويوضح شكل (1 - 316) أساليب تطبيق التيار للتسخين .

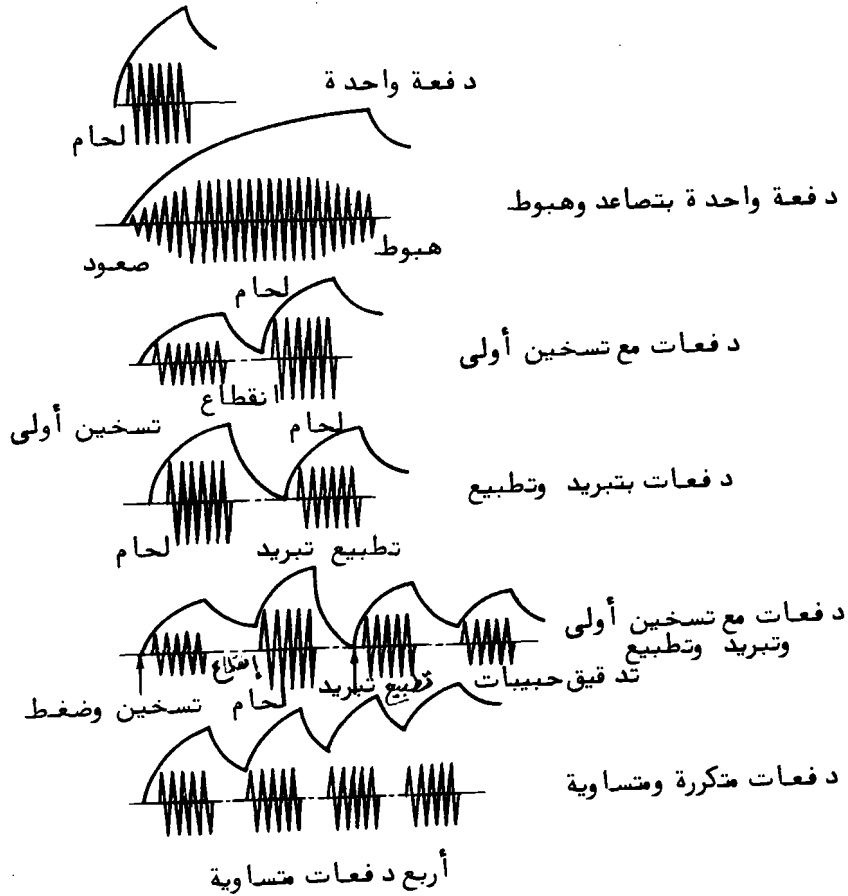
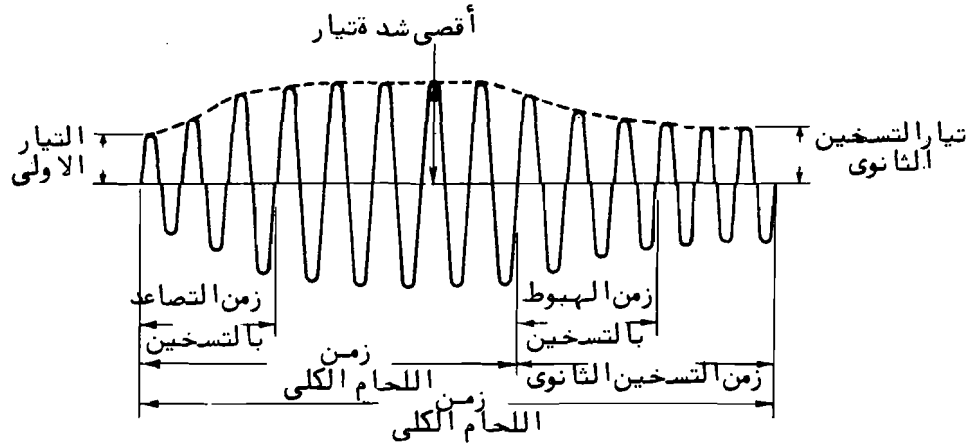


شكل (1 - 315)

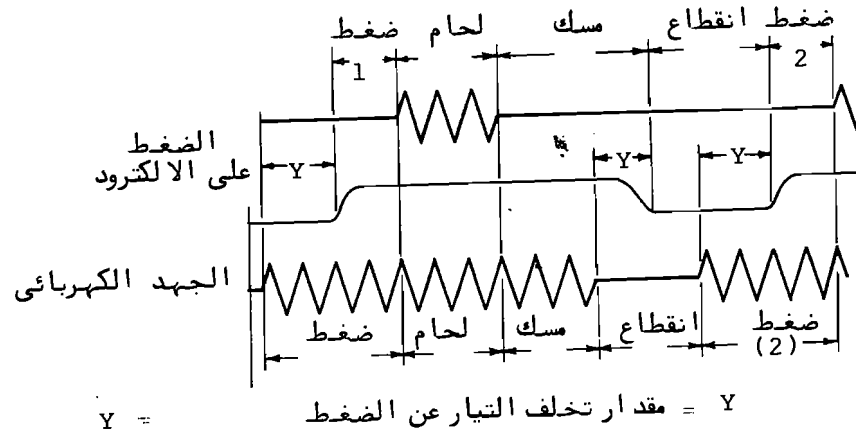


توزيع درجات اللحام في البقعة

شكل (3 - 315)



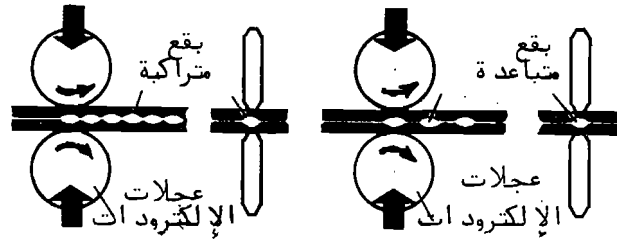
شكل (1 - 316)



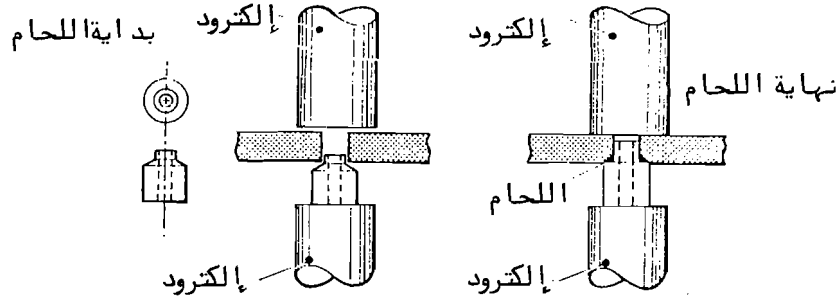
شكل (317-1) دورة لحام بقعة مركبة

وقد أمكن من جانب آخر تطوير هذا الأسلوب لانتاج لحام د رزى ببقع لحام متراكبة للحصول على خط مستمر للحام الألواح المتراكبة شكل (1 - 318) ويستعاض في هذه الحالة عن الإلكترودات المخروطية الثابتة بعجلات تشبه التي أستخدمت في لحام المواسير بالفلطحة . فتمارس هذه الإلكترودات الضغط المباشر المستمر على وصلة التراكب وإمرار التيار اللازم في دفعات صادمة ومتناوبة يتحكم فيها بحيث تنتج بقع مفككة ومتراكبة مع بعضها البعض فتصبح الوصلة محكمة ضد التسرب على طولها .

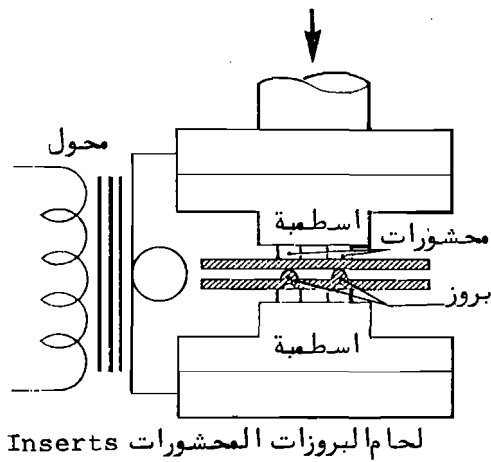
أما لحام النتوءات أو البروزات ففيه تعد الألواح قبل لحامها بتشكيل نتوءات أو بروزات على أحد الجزئين في المواقع المراد لحامها بالبقعة شكل (2 - 318) ثم تراكب الوصلة ويضغط عليها بالإلكترودات نحاسية سميكة القطر تغطي المساحة التي تشملها النتوءات كلها ثم يمرر التيار عن طريق هذه الإلكترودات إلا أن التيار الكهربائي في هذه الحالة لن يجد له مسارا إلا عبر مضائق نقط تلاصق عند قمة النتوءات في جزء الوصلة مع سطح الجزء الآخر وبذلك يمكن تركيز شدة التيار في هذه المواقع بجانب إمكان ممارسة ضغط مرتفع عن لحام البقعة (بسبب كبر قطر الإلكترودات في لحام النتوءات) . وفي لحام النتوءات يمكن



شكل (318-1)



شكل (318 - 2) لحام البروزات المحشورات

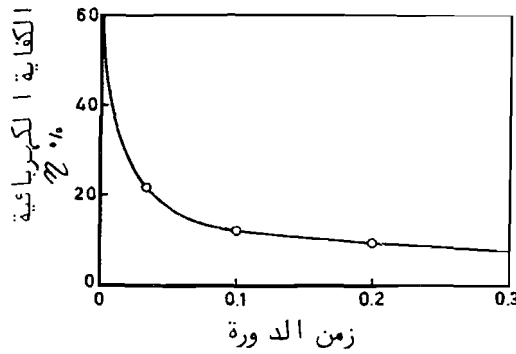


شكل (318-2)

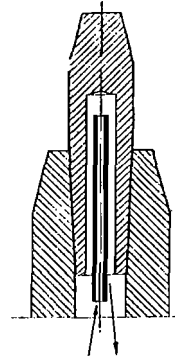
التحكم في مواقع بقع اللحام عن طريق استخدام أسطوانات خاصة تحدد مواقع البقع المطلوبة . وبذلك يمكن التحكم في تطابق مواقع البقع وتطابق الإنتاج . وفي كل عمليات اللحام بالمقاومة الكهربائية نجد أن المتغيرات الرئيسية والتي تتحكم فيها هي شدة التيار والمقاومة الكهربائية والزمن ثم الضغط الميكانيكي الممارس فالحرارة المتولدة تعادل

$$Q = \int_0^t I_{(t)}^2 \cdot R_{(t)} \cdot dt = \int_0^t I_{(t)} \cdot V_{(t)} \cdot dt. \quad \dots\dots 4.15$$

حيث Q هي كمية الحرارة المتولدة بالوات أو الجول ، وشدة التيار (I) والمقاومة (R) والجهد الكهربائي V كلها تتغير بالزمن (t) ويستفاد بجزء كبير من هذه الحرارة المتولدة في إنجاز عملية اللحام بينما يتسرب الباقي إلى باقى أجزاء المشغولة والكترودات اللحام (التى تُبرّد في المعتاد بالمياه الجارية شكل (1 - 319) التى تصنع من النحاس جيد التوصيل للحرارة والكهرباء . ولكون الحرارة المتولدة تتركز عند منطقة اللحام فإن من البديهي أنه كلما زاد زمن اللحام كلما أعطيت الفرصة للجزء المتسرب من الحرارة ليزداد والعكس صحيح كلما قصرت فترة اللحام (فترة مرور التيار) كلما زادت الاستفادة بالتيار المستخدم وتركيزه في اللحام دون تسرب يذكر منه . وشكل (2 - 319) يوضح ذلك .
فى العلاقة بين الكفاءة الكهربائية (η) وزمن اللحام .
ومنه يتضح أن أقصى كفاءة وهى (60 %) يتوصل إليه عند انعدام الزمن أى عند اللحام بصدمة تيار كهربائي .



شكل (2 - 319)

شكل (1 - 319)
مياه التبريد

وقد أمكن إيجاد العلاقة بين مقدار التسرب الحرارى والزمن .

$$Q_L = K \sqrt{t} \quad \dots\dots 4.16$$

$Q_L =$ المقدار المفقود (المتسرب من الحرارة) .

$K =$ ثابت .

$t =$ الزمن .

ولهذه الحقيقة أهمية خاصة بالنسبة لعمليات اللحام بالمقاومة الكهربائية والتي تتطلب على هذا الأساس استخدام شدة تيار عالية في زمن قصير جداً .

ومن هذه القيود تنشأ عدة صعوبات تكنولوجية وميتالورجية تحد من استخدام طرق اللحام هذه . فمثلاً لكي نحصل على بقعة لحام جيدة لا بد أن يتحقق لهذه البقعة (العدسة) Nugget عمق (شخانة) تعادل $(\frac{1}{5})$ قطرها في كل جزء من جزء المشغولة أى أن حجم العدسة الكلى سيعادل :

$$2 \left(\frac{\pi d^2}{4} \times \frac{d}{5} \right) = \frac{\pi d^3}{10} \quad \dots\dots 4.17$$

فلو كان قطر عدسة اللحام يعادل (5 mm) فإن الحجم سيعادل (40 mm^3) . وكمية الحرارة اللازمة لصهر (1000 mm^3) من الصلب تعادل $10\,000 \text{ J}$ (جول) فلو كان المردود الكهربى (8%) فمعنى ذلك أننا سنحتاج إلى كمية من الحرارة تعادل :

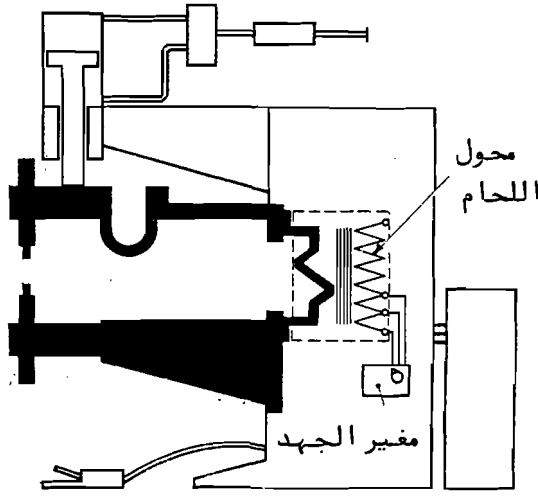
$$Q = \frac{40 \times 100 \times 10\,000}{8 \times 1000} = 5000 \text{ Joule}$$

لصهر عدسة اللحام ولو كان زمن اللحام $(0,1 \text{ s})$ فإن معدل التسخين سيكون $50\,000 \text{ J/s}$ أى أن الطاقة اللازمة ستكون $50\,000 \text{ Watt}$ $50\,000 \text{ J/s}$

ومن العلاقات السابقة سنجد أن مقاومة البقعة بهذا الحجم تقع في حدود $0,0025$ أو (في المراحل الأولى على البارد) ولكن هذه المقاومة تنخفض أثناء اللحام إلى ما يقرب من $0,0002$ أوم أى عشر قيمتها الأولية وهذا الانخفاض لا يتم بصورة تدريجية بل بصورة تحويلية وعلى هذا الأساس تعتبر المقاومة المتوسطة حوالى $0,0005$ أوم وإذا استخدم جهد كهربائى قدره 5 V مطبقاً على المشغولة فإن التيار المار سيصبح

$$I = \frac{5}{0,0005} = 10\ 000 \text{ Amp.}$$

وللحصول على تيار بهذه الشدة العالية والجهد المنخفض يستخدم محول كهربائي كما في شكل (1 - 321) لتحقيق نسبة خفض الجهد وزيادة شدة التيار وفيه يتضاءل عدد لفات الملف



شكل (1 - 321)

الثانوى بالنسبة لعدد لفات الملف الابتدائى وفى كثير من الأحيان ما يصنع الملف الثانوى من لفة واحدة من النحاس السميك (المسبوك بشكل لفة) ليتحمل شدة التيار المار به إلا أن مرور هذا التيار الشديد فى هذه الفترة الوجيزة من الزمن (0,1) ثانية فى منطقة اللحام لا يعدم مرور جزء منه حول البقعة (مرور بالتوازي) وتزداد قيمة هذا التيار بصفة خاصة عند لحام الرقائق

ضعيلة الشخانة . ولو أنه يمكن الإقلال من هذا التأثير بلحام عبدة بقع متتالية ومتباعدة إلا أنه لا يمكن ملاحظة هذا التأثير خاصة فى لحام البقع المتجاورة المتراكبة كما فى حالات لحام الدرز (الخطئى) المتراكب ولذ لك تجهز بعض المكائن اللحام بالبقعة بأجهزة تحكم خاصة لبدء اللحام بتيار منخفض فى الدفقات الأولى .

هذا ويجب التنويه إلى أن تقديرات المقاومة السابق حسابها أهمل فيها مقاومة مرور تيار الدائرة الثانوية المحتوية على الملف الثانوى والقرون (Horn) الحامل للإلكترودات وأخيرا مقاومة التلامس بين الإلكترودات وسطحى المشغولة وقد صار هذا الإهمال لكون أن مجموع هذا المقاومات يعتبر ضعيفا بالنسبة لمقاومة

التلامس عند سطح الانفصال في المشغولة إلا أنه بالرغم من ذلك قد صار إغفال آخر يعتبر من الأهمية بمكان في هذه الحالة ألا وهو المقاومة أو المعاوقة لمرور التيار والمعروف باسم المعاوقة الحثية Inductive Impedance أو ممانعة الملف Loop Reactance (في الملف الثانوى) وهذه الممانعة هي التي يصادفها التيار المتردد بتردد قدره (f) بسبب مروره في ملف بسبب محاثية الملف Inductance فلو كانت المحاثية هي (L) بالهنرى فإن الممانعة (X) تعادل بالأوم ($2 \pi f L$) ولتقدير المحاثية يمكن تبسيط شكل الملف الثانوى بأنه عبارة عن قضيب من النحاس المستدير لى شكل مربع ضلعه بطول a سم فإن محاثية هذا الملف في الهواء (أى بدون وضع أى قلب حديدى يؤثر على التدفق المغنطيسى (داخله) ستعادل

$$L = 0.008 a \left[2.3 \log \frac{2a}{d} + \frac{d}{2a} - 0.524 \right] \dots 4.18$$

حيث d هو قطر قضيب النحاس بالسـم ، L المحاثية بالميكروهنرى وبالتعويض بقيمة مناسبة لكل من a ، d كما في مكثات اللحام

$$d = 60 \div 90 \text{ mm} , \quad a = 600 \div 900 \text{ mm}$$

واعتبار التردد (50) دورة في الثانية نجد أن قيمة (L) تعادل نحو (1,5) ميكروهنرى وتبلغ الممانعة الحثية (X) على هذا الأساس نحو (0,0005) أوم أى ما يعادل المقاومة الأومية المتوسطة السابق حسابها وهي من جانب آخر أقل المقاومة الأولية على البارد للسطح الانفصال التي تبلغ (0,0025 أوم) ولكنها أكبر من المقاومة أثناء اللحام التي تبلغ (0,0002 أوم) وهذا التغير في المقاومة الأومية يتم في لحظة وجيزة لا تتجاوز نصف الدورة الأول لتردد التيار الأمر الذي يترتب عليه التحكم في شدة التيار المار في هذه الفترة بتأثير الممانعة الحثية بمعنى أن نقص المقاومة الأومية المفاجيء لا يترتب عليه زيادة طفرة في شدة التيار المار .

وبسبب وجود التأثير الحثي فإن تخلفاً للتيار المار عن الجهد كما هو معروف في دوائر التيار المتردد وأن الجهد في هذه الدوائر يعادل :

$$V = I \sqrt{R^2 + X^2} \quad \dots\dots 4.19$$

V = الجهد بالفولت

I = شدة التيار بالأمبير

R = المقاومة الأومية بالأوم

X = الممانعة الحثية بالأوم

وأن زاوية تخلف التيار عن الجهد تعادل

$$\phi = \tan^{-1} \frac{X}{R}$$

وإذا افترضنا على سبيل المثال أن الجهد المستخدم في الملف الابتدائي لمكنة اللحام يعادل (480) فولت وأن نسبة تخفيض المحول هي (1 : 80) فإن الجهد الثانوي في حالة الدائرة المفتوحة (عدم تحميل الدائرة الثانوية) سيكون (6) فولت إلا أن هذا الجهد ينخفض في المعتاد عند التحميل إلى حوالي (5.5) فولت ويأخذ قيم المقاومة الحثية السابقة فإن شدة التيار عند البدء ستكون

$$I = \frac{5,5}{\sqrt{(0,0025)^2 + (0,0005)^2}} = 2130 \text{ A أمبير}$$

أما إذا كانت قيمة الممانعة الحثية (X = 0) فإن شدة التيار ستزداد إلى (2200) أمبير

$$I_{(X=0)} = \frac{5,5}{\sqrt{(0,0025)^2}} = 2200 \text{ A أمبير}$$

وفي أثناء اللحام حيث تنخفض المقاومة الأومية إلى 0,0002 أوم فإن شدة التيار ستصبح :

$$I = \frac{5,5}{\sqrt{(0,0002)^2 + (0,0005)^2}} = 8500 \text{ A أمبير}$$

أما إذا كانت قيمة المقاومة الأومية ($R = 0$) فإن شدة التيار ستزداد إلى (11000) أمبير .
وزاوية تخلف التيار عند البدء

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{0,0005}{0,0025} = 11.32^\circ$$

وعند اللحام :

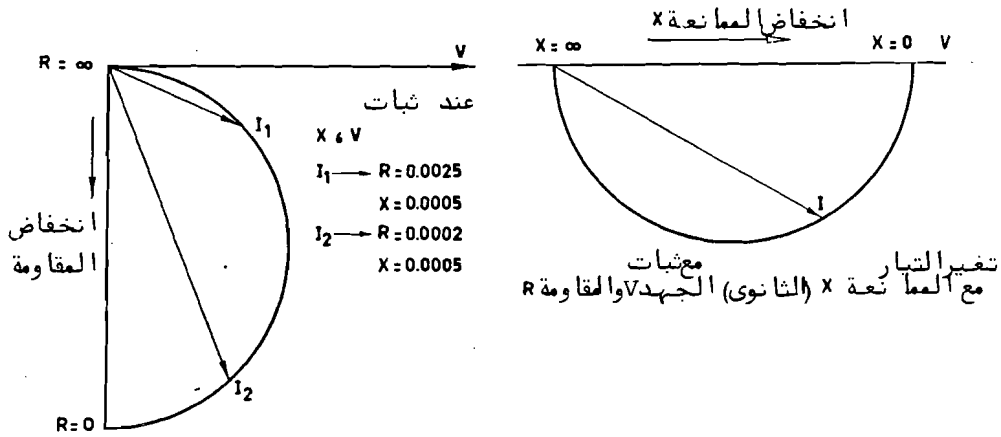
$$\theta_{iw} = \tan^{-1} \frac{0,0005}{0.0002} = 68.2^\circ$$

أما معامل القدرة ϕ فهو يعادل

$$\phi_i = \cos i = \cos 11,32 = 98\%$$

$$\phi_w = \cos w = \cos 68.2 = 37\%$$

ويمكن تمثيل ذلك تخطيطاً إذا رسم متجه Vector يمثل الجهد المطبق (V) كخط أساسي ثم رستقيم التيارين السابقين كمتجه كل زاوية تخلفه شكل (1 - 324) . وتكرر ذلك لقيم أخرى من (R) مع ثبات (X) نجد أن المحل الهندسي لقيم هذه التيارات يقع على محيط الدائرة (نصف دائرة) ولما كانت الطاقة الكهربائية تحسب بحاصل ضرب قيمة



شكل (1-324)

شكل (2-324)

الجهد ومسقط قيمة التيار (على متجه الجهد) فإن الواضح أن أقصى طاقة يمكن الحصول عليها عند ما يتساوى مقدار كل المقاومة الأومية (R) والممانعة (X) وفى حدود القيم التى تستخدم فى عمليات اللحام كالقيم المعطاه فى المثال العددي الأخير نلاحظ أن الطاقة تكون فى البداية ضئيلة ولكنها ما تلبث أن تزداد بسرعة ثم تعود للانخفاض وعلى نفس النمط المتبع فى شكل (1 - 324) لو ثبتت المقاومة (R) وتغيرت الممانعة (X) فإننا نحصل على شكل (2 - 324) والذي اتضح منه أن التيار يزداد بانخفاض الممانعة وينقص زاوية تخلف التيار وبالتالي زيادة سعة Capacity مكنة اللحام . ولتحقيق ذلك (خفض الممانعة) يمكن خفض محاثية الملف الثانوى للمكنة وهو ما يحدث فى معظم مكينات اللحام بالمقاومة الكهربائية بتغيير أطوال القرون والمسافة بينها أو بتغيير نوعيته القلب الموجود داخل الملف الثانوى الى الهواء (أى بدون قلب حديدى كالمعادلة (4.18) وفى حالة تواجد مواد حديدية (مثل المشغولة المطلوب لحامها إذا كانت حديدية) فى مسار التدفق المغناطيسى (داخل الملف الثانوى) فإن المعاوقة الحثية ستزداد ومن ثم تأثير التيار المار بمقدار هذه المعاوقة . ولما كانت التغير فى المعاوقة الحثية سيتوقف حينئذ على موقع المشغولة بالنسبة للملف الثانوى (القرون والكثودات) فإن النتيجة المتوقعة هى عدم تساوى أحجام البقع الملحومة فى حجمها بسبب تغير التيار المار حسب موقع المشغولة . كل ذلك بطبيعة الحال إذا كانت المشغولة من مادة حديدية (مغنطيسية) أما إذا كانت من مادة غير مغنطيسية فلن يكون لوجودها فى بيئتين الإلكثرونيات أى تأثير على حجم البقعة .

دورة اللحام Welding Cycle :

تتألف دورة اللحام فى كل من لحام البقعة ولحام الدرز التراكبى ولحام التنوّات من أربعة مراحل متسلسلة كما يأتى :

1 - مرحلة الضغط الأولى :

وفيها يُضَغَطُّ على سطحى المشغولة بواسطة إلكترونيات اللحام قبل إمرار أى تيار للتسخين . ويُقاسُ زمن هذه المرحلة بالزمن المنقضى بين لحظة بدء تطبيق الضغط ولحظة بدء التيار الكهربائى للتسخين .

2 - مرحلة التسخين :

وفيها يمرر التيار الكهربائى فى المشغولة عن طريق الإلكتروودات مع استمرار الضغط المطبق من المرحلة الأولى - ويقاس زمن هذه المرحلة بالزمن المنقضى منذ لحظة بدء مرور التيار الكهربائى حتى انقطاعه فى نهاية هذه المرحلة .

3 - مرحلة اللحام الرئيسى :

وفيها يطبق الضغط الرئيسى المناسب للحام Forging-Press ويقاس هذا الزمن منذ لحظة انقطاع التيار الكهربائى أو آخر دفعة من دفعاته وحتى لحظة بدء إزالة قوى الضغط .

4 - إزالة الضغط :

وفى هذه المرحلة يزالُ الضغطُ كُلُّهُ تَهيِداً لرفع المشغولة .

وشكل (2-315) يوضح العلاقة بين الزمن وكل من الضغط والتيار ودرجة الحرارة فى إحدى دورات لحام البقعة المبسطة وهناك دورات لحام أخرى مركبة من مراحل أخرى اضافية لمعاملات حرارية سابقة ولاحقة لعملية اللحام شكل (1-317 , 1-316)

التيار الكهربائى المستخدم فى عمليات اللحام :

يستخدم فى عمليات اللحام بالمقاومة الكهربائية كل من التيار

الكهربائي المتردد أو التيار
المستمر ونظم التيارات
الكهربائية المخزونة . والتي
سيأتى تفصيلها فيما يلى .

التيار المتردد :

يُستخدَمُ التيار المتردد فى معظم مكثات اللحام بالمقاومة . وقــد
يستخدم تيار وحيد الطور Single Phase أو تيار ثلاثى
الأطوار Three Phasse وكلها بالتردد المعتاد (50 Hz) ذبذبه
فى الثانية (التردد المستخدم فى مصر) ويخفض الجهد فى كل الأحوال
إلى مقدار يتراوح بين (1 ÷ 25) فولت فى محول خاص وبالتالى يمكن
الحصول على شدة تيار مرتفعة تتدفق بالمقدار المطلوب لعملية اللحام
حسب حدود سعة المكثة المصممه من أجله .

وتتراوح شدة التيار بين 1000 أمبير ، 100000 أمبير وقد يزيد
التيار عن هذه الحدود فى حالات خاصة .

وفى حالات استخدام التيار ثلاثى الأطوار يخفض التردد المعتاد
(50 Hz) إلى ترددات تصل إلى نحو (3 Hz) وذلك فى وحدات
لحام خاصة تقوم بهذه المهمة . ولمكثات اللحام التى تعمل بهذه الترددات
المنخفضة ميزات هامة أهمها أنها تتطلب حملا أقل (فولت - أمبير)
وذلك بسبب انخفاض الممانعة ($X = 2\pi fL$) عند الترددات (f)
المنخفضة . ويناسب ذلك بصفة خاصة المكثات التى يتطلب منها دورة
تشغيلية عالية High - Duty - Cycle

الدورة التشغيلية = فترة توصيل التيار (التشغيل)

فترة توصيل التيار (التشغيل) + فترة انقطاع التيار (التوقف)

Duty Cycle =

وتعمل وحدات تخفيض التردد باستخدام وحدة اجنترون Ignitron

سداسية لتوحيد التيار (Rectifier)

ومن جانب آخر قد يُستخدَمُ التيار المتردد بترددات عالية تصل إلى نحو 450000 Hz وَيُستخدَمُ في هذه الماكينات محولات خاصة تقوم بتوصيل التيار إلى المشغولة عن طريق إلكترونيات خاصة متلامسة Contact Shoes أو عن طريق ملفات حثية Induction Coils. ويستخدم هذا التيار بصفة خاصة في لحام الدرز التراكبي أو التناكبي .

التيار المستمر :

ويولد أساساً من مصدر تيار متردد (ثلاثي الأطوار) ثم يوجد هذا التيار في محول خاص يستخدم موحدات ثنائية من السليكون Silicon Diodes مبرد بالماء في مجموعات على التوازي لتعطي التيار المستمر بمقاديره الكبيرة التي تتطلبها عمليات اللحام بالمقاومة الكهربائية .

وحدات اللحام بخزن الطاقة الكهربائية Stored Energy Units

تعمل كل مكثات اللحام بالمقاومة الكهربائية بدورات متقطعة أى يتصل فيها التيار لفترة ثم ينقطع لباقي الدورة . وتصل الدورة التشغيلية لمكثات اللحام بالدرز إلى نحو 50 % بينما تكون الدورة التشغيلية لمكثات اللحام بالبقعة التي تشغل يدويا (لا تعمل أوتوماتيا) في الحدود بين 25 - 2 % ولذلك تعتبر كفاية Efficiency مكثات اللحام بهذه ضئيلة نظراً لضآلة الطاقة المستغلة منها بالنسبة لسعتها . هذا بجانب انخفاض معامل الطلب Demand Factor وما تسببه هذه المكثات من تشويش خط تغذية التيار (يؤثر على الإضاءة مثلا) عند لحظات توصيل التيار بها .

لكل ذلك نشأ التفكير في اختزان الطاقة الكهربائية بطرق خاصة في فترة انقطاع التيار في دورة اللحام والاستفادة بهذه

الطاقة عند توصيل التيار لعملية اللحام

أو بمعنى آخر اختزان الطاقة بمعدل بطيء وصرفها بصورة فجائية وكمية . وتنقسم وحدات تخزين الطاقة إلى أربعة أنواع رئيسية :

- | | |
|-----------------|----------------------------|
| Electromagnetic | 1 - التخزين الكهرومغناطيسي |
| Electrostatic | 2 - رر الكهروستاتيكي |
| Electrochemical | 3 - رر الكهروكيميائي |

1- التخزين الكهرومغناطيسي : (1-331)

عند إمرار تيار مستمر في ملف بمقاومة وممانعة معينة نجد أن التيار يتزايد ويستغرق بعض الوقت حتى يصل إلى قيمته المستقرة ($\frac{V}{R}$) وفي أثناء هذه الفترة نجد أن الملف قد استهلك قدرا من الطاقة يتحول جزء منه إلى حرارة والباقي يختزن في المجال المغناطيسي وعند فتح الدائرة نجد أن هذه الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي بالملف تصرف فجأة في صورة شرارة (أو قوس كهربائي) عند طرفي التوصيل (وهذا هو مبدأ إشعال الشرارة في محركات السيارات القديمة بملفات الإشعال) وللإستفادة بهذه الطاقة في اللحام يضاف ملف ثانوي إلى الملف الأول ، ثم يوصل بالمشغولة وعند فتح الدائرة فإن بعض الطاقة المخزنة ستتحول إلى الملف الثانوي بالتأثير الحثي المتبادل بين الملفين Mutual Inductance والبعض الآخر من هذه الطاقة سيفقد في شرارة فتح الدائرة ولا مكان الاستفادة بهذا الجزء الأخير كذلك يضاف مكثف ليمثل مع الملف دائرة تذبذب تمنح كل طاقتها المخزنة إلى المشغولة المطلوب لحامها . وتخزن الطاقة الكهربائية بهذا الأسلوب عند جهد مرتفع وتصرف في المشغولة

عند جهد منخفض وشدة تيار مرتفعة (عكس ما يحدث فى ملفات الإشعال فى السيارات) .

2 - التخزين الإلكترىستاتى : شكل (1-332)

يتم تخزين الطاقة الكهربائية فى هذه الحالة فى مكثفات بسعات كبيرة وجهد يتراوح بين 3000 ÷ 1500 فولت وتفرغ شحنات المكثفات عن طريق محول تيار لخفض الجهد وزيادة التيار المفرغ فى الشغلة المطلوب لحامها .

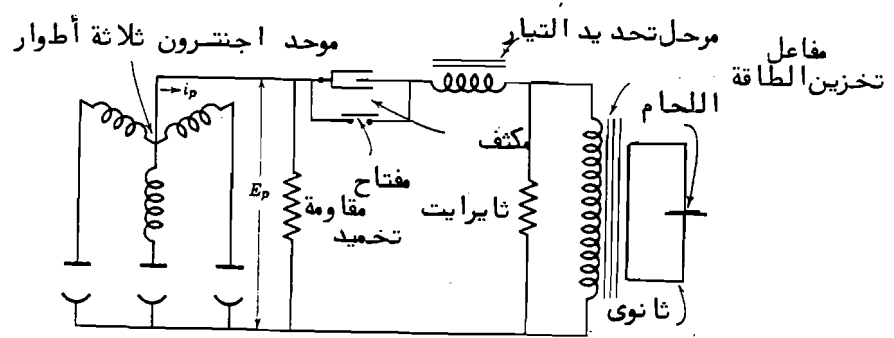
3 - التخزين الكهروكيميائى : شكل (2-232)

تُستخدَمُ فى هذه الحالة البطاريات الكهربائية السائلة المتصلة بمصدر شاحن لها لتحتفظ بمستوى شحناتها لتمنحها للمشغولة بمقادير متساوية، وفى المعتاد استخدام مفاتيح خاصة لتوصيل التيار وقطعه وهذه المفاتيح تكون فى العادة من أقراص الكربون (لتمنع تكون أى شرارة عند توصيل أو قطع التيار) . فالمقاومة الكهربائية على الأطراف الكربونية على عكس الأطراف المعدنية تزيد بزيادة الضغط المؤثر وبالتالي لا تحتاج هذه المفاتيح إلى ضغوط عالية لتحقيق الاتصال عبر مقاومة منخفضة . ومن طرق التخزين المذكورة لم يعد يستخدم حديثا إلا النوع الثانى أى التخزين الإلكترىستاتى .

زمن التسخين :

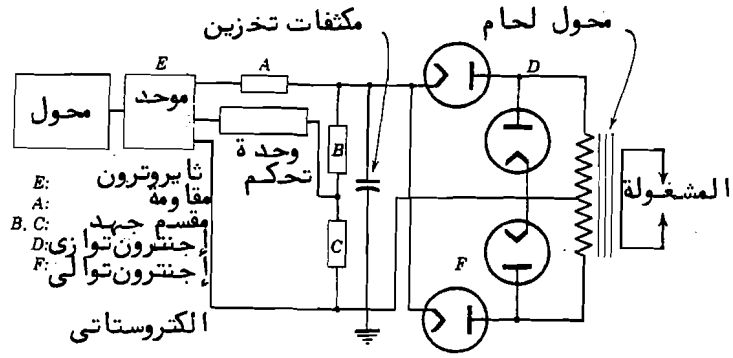
يمكن التحكم فى زمن مرور التيار الكهربائى اللازم للتسخين إما يدويا أو بالتحكم الآلى الإلكترىستاتى أو الميكانيكى أو بالهواء المضغوط وذلك عند استخدام التيار المستمر أو المتردد وون التيار المخزون الذى يوصل فى صورة دفعات ويمكن أن يستمر مرور التيار لجزء من دورة (مثلا نصف دورة = $\frac{1}{100}$ من الثانية إذا كان تردد التيار

= 50 دورة في الثانية) عند لحام الألواح الرقيقة أو لعدة دورات أو عدة ثوان عند لحام الألواح الشخينة . ويتوقف زمن التيار على نوع معدن المشغولة وشخانتها وشدة التيار المار طول فترة مروره وشكل (1 - 373) يبين بعض الاحتمالات لفترات توصيل التيار الكهربائي



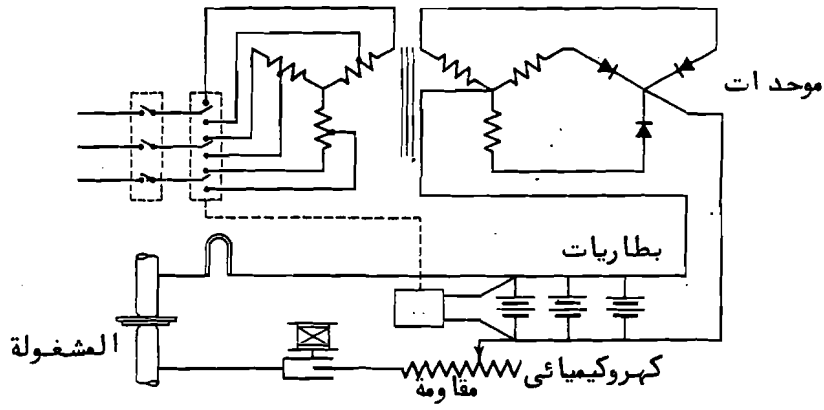
شكل (1 - 331) التخزين الكهرومغناطيسى

فى دورات لحام مختلفة فبعضها يعتمد على توصيل التيار فى نبضة واحدة مثل لحام رقائق الصلب اللدن (الصاج الرقيق) وقد يكون التيار خلال هذه النبضة منتظما أو متزايدا بالتدريج حتى يصل إلى قيمة قصوى ثم يتضاءل . وقد يكون فى عدد نبضات بقصد إحداث تسخين أولى لعمليات ميتالورجية خاصة مثل التلدين (التخميد) الأولى ثم نبضة أو عدة نبضات للتسخين لدرجة حرارة اللحام ثم التسخين بعد فترة (بعد التبريد) لعملية ميتالورجية خاصة مثل التطبيع Tempering وهكذا .



التخزين الكهروستاتي

شكل (1 - 332)



التخزين الكهروكيميائي

شكل (2 - 332)

قوة الضغط بالكثرويدات اللحام :

تلعب قوة الضغط المسلطة بواسطة إلكثرويدات اللحام على المشغولة دورا هاما في التحكم وإنجاح عملية اللحام .

فالضغط الميكانيكى الذى يطبق بواسطة الإلكثرويدات يؤثر تأثيرا كبيرا على مقدار الحرارة المتولدة ومدى توزيعها وذلك خلال جزء صغير من الدورة الأولى للتيار . بجانب أن الضغط يلعب دورا رئيسيا فى اللحام بعد وصول المشغولة إلى درجة الحرارة المنشودة وذلك بالقضاء على سطح الانفصال باقتراب ذرات سطحى المشغولة حتى تمارس قوى الربط (ضغط اللحام) وزيادة هذا الضغط يودى إلى النتائج التالية .

- 1 - زيادة فرصة التماس بين سطحى المشغولة .
 - 2 - نقص المقاومة الكهربائية للتماس بين سطحى المشغولة وبين سطحى المشغولة والإلكثرويدات .
 - 3 - زيادة التيار الكهربائى المستخدم فى عملية اللحام .
 - 4 - نقص فرص وجود مسامية أو تشرخ فى بقعة (عدسة) اللحام .
- ويمكن أن يطبق الضغط فى مرحلة واحدة أو عدة مراحل كما يلى :

- 1 - يطبق ضغط ثابت طوال فترة اللحام .
- 2 - يطبق الضغط على مرحلتين الأولى ضغط مرتفع نسبيا (بقصد خفض المقاومة الكهربائية للتماس) ثم مرحلة ثانية ينخفض فيها الضغط عن المرحلة الأولى بقصد خفض مقدار التيار أثناء اللحام .
- 3 - يطبق الضغط على ثلاث مراحل تكون المرحلتان الأولى والثانية منها مطابقة لما ذكر فى (2) . أما المرحلة الثالثة والأخيرة فيرتفع الضغط إلى قدر الضغط فى المرحلة الأولى أو قد يفوقه، ويكون ذلك بالقرب من نهاية مرور التيار الكهربائى وذلك بقصد خفض نسبة المسامية وفرص التشرخ فى بقعة (عدسة)

اللحام .

4 - يطبق الضغط على مرحلتين الأولى ضغط منخفض نسبياً يتبعه فى المرحلة الثانية ضغط مرتفع بقصد اقتراب الذرات السطحية (إزالة سطح الانفصال) وخفض نسبة المسامية وفرص التشرخ فى بقعة اللحام .

وبجانب هذه المهام الرئيسية للضغط الذى يمارس خلال دورة اللحام لا يجب أن يغفل ذكر مهمة أخرى وهو قيامه بإحكام الالتصاق عند سطح الانفصال حول البقعة المنصهرة فلا يسمح بالتسرب بالتناثر (بالطرشة) أو بتسرب الأبخرة المتولدة أو بدفع هذه الأبخرة للمعدن المنصهر وبالتالي لا تترك فرصة لتكوين فجوات فى بقعة اللحام .

ومن الجدير بالذكر أنه لا يجب زيادة قوة الضغط زيادة مبالغ فيها بقصد تحقيق الإحكام المذكور لأن ذلك يؤدى إلى تشويه سطح المشغولة (بنقر الإلكترودات) .

وتعتبر اللحظات الأولى لتطبيق الضغط عند ما يصل معدل الحرارة أقصاه هى اللحظات الحرجة من وجهة نظر الإحكام ومنع طرد المنصهر من البقعة .

ولا مكان تحقيق الإحكام المنشود لا بد أن تكون حركة الاقتراب بين الإلكترودات حركة هادئة وبمعدل سريع نسبياً بحيث يسبق لحظة طرد المنصهر .

ولذلك يجب أن يكون القصور الذاتى للإلكترودات (بسبب كتلتها) عائقاً فى سبيل تحقيق التوافق الزمنى المذكور وفى هذا السبيل تستخدم مكثات اللحام الكبيرة أساليب الضغط الهوائية بجانب استخدام إلكترودات خفيفة قليلة الاحتكاك أما فى المكثات الصغيرة (الرخيصة) فيكتفى بتطبيق الضغط بالمدوس (بالقدم) .

عناصر التحكم فى لحام البقعة :

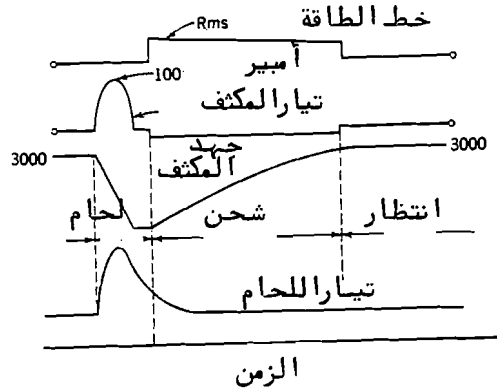
تُعتبر المتغيرات الأساسية التى يمكن التحكم فيها خلال عمليات لحام البقعة هى متغيرات توليد الحرارة (المصدر الكهربائى) والمتغيرات الميكانيكية (الضغط) والميتالورجية . ويدرس مقاومة المتغيرات الكهربائية المسؤولة عن توليد الحرارة نجد أن مقاومة التلامس تتغير خلال دورة اللحام وبالتالي تتغير شدة التيار المار خلال هذه الفترة وهذه المتغيرات يمكن التحكم فيها من خلال تغير نسبة لفات الملف الابتدائى إلى الملف الثانوى ثم من خلال التحكم فى الضغط الميكانيكى الذى يؤثر بصورة مباشرة على مقاومة التلامس الكهربائية والذى يصل مدى التغير فيها إلى ما يقرب من (10 : 1) هذا بجانب التحكم فى زمن مرور التيار . ولذلك تجهز مكائن اللحام بأجهزة توقيت مرور التيار تعمل إما ميكانيكياً أو إلكترونياً . وهذه الأجهزة يمكنها التحكم فى زمن مرور التيار فى حدود دنيـا تبدأ من نصف نبضة للتيار المتغير أى $\frac{1}{100}$ من الثانية وتصل فى حدودها القصوى عدة دورات أو عدة ثوان حسب معدن المشغولة وشخانتها . وعلى سبيل المثال تتغير مقاومة التلامس الكهربائية عند لحام سبائك الألومنيوم القابلة للتصلد بالمعاملات الحرارية تغيرا بينا لمجرد اختلاف أسلوب معالجتها السطحية مثل إزالة المواد الدهنية والأكاسيد وأخذ الاحتياض لمنع لمسها قبل اللحام (حتى لا تتترك البصمات آثاراً دهنية على السطح) بينما لا يكون هذا التغيير السطحي مؤثراً فى حالة لحام ألواح الصلب التى تتطلب شدة تيار منخفضة ولفترة طويلة من الزمن .

أما من وجهة نظر المتغيرات الميكانيكية فيقصد بها التحكم فى الضغط الميكانيكى الذى يطبق عن طريق إلكترودات اللحام وقسـد سبق إيضاح تأثير الضغط المسيطر على آلية اللحام وعلى ظاهرة طرد المعدن المنصهر من بقعة اللحام أو عند تلامس الإلكترودات والمشغولة إذا لم يطبق الضغط الكافى وفى الوقت المناسب أى خلال اللحظات الأولى من دورة اللحام (حوالى عدة ملى ثانية) . وتبدو هذه الظاهرة خطيرة بصفة خاصة فى لحام سبائك الألومنيوم والصلب

السبائكى بينما يتضاءل تأثيرها فى لحام الصلب اللدن الذى يتصف بخواص لدونة كبيرة والتي تتيح فرصة لضغط الإلكترودات الممارسة ولا حكام حلقة حول البقعة ومنع طرد المنصهر منها .

وهناك بجانب ذلك طرق كهربائية حديثة لمنع طرد المنصهر من البقعة يطلق عليها أجهزة التحكم فى انحدار التيار Slope Control وترتبط هذه الأجهزة بأجهزة توقيت، مرور التيار والتي تعمل بمبدأ التحكم فى ترحيل طور التيار Phase Shift وبهذه الأجهزة يمكن السماح بزيادة مرور التيار مبتدئاً من الصفر إلى القيمة المطلوبة (القيمة الفعالة والتي تساوى قيمة المتوسط جذر المربعات RMS) للحام ولفترة التسخين المطلوبة ثم التحكم فى تخفيضه تدريجياً مرة أخرى بنفس الأسلوب شكل (1 - 393) (لمنع التبريد السريع ومن ثم التعرض للتشقق) ولاتاحة الفرصة للإلكترودات بمتابعة الانكماش الحادث فى البقعة بالتبريد .

ويتطبيق هذا الأسلوب أمكن لحام العديد من السبائك بواسطة مكثات اللحام المعتادة والتي كان لحامها يقتصر على مكثات اللحام بخزن الطاقة السابق الإشارة إليها .



شكل (1-336)

وبجانب ذلك يمكن استخدام أسلوب مرور التيار في صورة دفعات متكررة شديدة وقصيرة الأمر الذى يتيح فرصة طيبة لإطالة (دورة) اللحام دون أن تتعرض الإلكترويدات للبرى أو الاختراق للمشغولة إذ أن تبريد الإلكترويدات يتم بصورة أكثر فعالية وسرعة (بتأثير تبريدها بالماء) عن معدل تبريد المشغولة خلال انقطاع التيار بين دفعاته (1 - 273) هذا بالإضافة إلى ارتفاع المردود الحرارى للعملية ككل بمعنى أن الحرارة المتولدة تظل مركزة عند البقعة وتحت الإلكترويدات مباشرة الأمر الذى يعطى ميزة رفع كفاءة وسعة مكنة اللحام ويمكن عمل لحامات بقعة فى طبقات متراصة .

أسس اختيار مكثات لحام البقعة بالمقاومة الكهربائية :

تعدد أنواع مكثات لحام البقعة ويمكن تصنيفها حسب سعة المكنة وكفاءة أدائها ومدى التحكم فى عناصرها (المتغيرات) وبالرغم من تباين هذه المكثات فى مدى بساطتها أو تعقيدها وبالتالى تدرج تكاليفها إلا أنه فى كثير من الأحيان لا تتوقف نوعية وجودة بقعة اللحام على نوع المكنة فالمكثات البسيطة التى يتم التحكم فى عناصرها يدويا يمكنها فى لحام ألواح الصلب اللدن أن تنتج بقمع لحام بجودة لا تختلف عن ما تنتجه أحدث وأعقد المكثات . إلا أننا نجد أن هذه المكثات البسيطة تتوقف حدود كفاءتها عند لحام المواد ذات المقاومة العالية والتى تتمتع بخواص لدونة طيبة مثل الصلب اللدن أما عند لحام المواد الأخرى فإن اللجوء إلى المكثات الكبيرة المجهزة بعناصر تحكم مثل التى تعمل بالهواء المضغوط وبصير التحكم فى توقيت عناصرها إلكترونيا يصبح أمرا ضروريا . أى أن هذه المكثات الأخيرة تتميز بأنها تغطى ككل متطلبات عمليات اللحام للعديد من المعادن بينما يقتصر عمل الأنواع البسيطة على الصلب اللدن هذا من وجهة نظر إمكانية إنتاج وصلات لحام للمعادن المختلفة أما من وجهة نظر ظروف التحميل على خطوط إمداد الطاقة نجد أن الماكينات البسيطة كثيرا ما يصير إمدادها بالطاقة من طور واحد ولما كان التحميل يصير

بصورة متقطعة فإن اضطراب هذا وسوء التحميل بالنسبة للطبريين الآخرين يعتبران من عيوب هذه المكثات وربما يكون سببا مباشرا لاعتراض مصادر توريد الطاقة أو باقى المستفيدين بخط التغذية على تشغيل هذه المكثات على الإطلاق . وهو أمر أمكن تلافيه فى المكثات الحديثة التى تعمل بخزن الطاقة أو بتغيير التردد وعند المفاضلة بين الأنواع الأخيرة نجد أن المكثات التى تعمل بتغيير التردد أقل تكلفة عن تلك التى تعمل بخزن الطاقة سواء استاتيكية أو كهرومغنطيسيا وتفضل بصفة خاصة عند الاهتمام بمشاكل ارتعاش الإضاءة (على خط التغذية) دون الاهتمام بحمل الدروة ' Peak Demand وفى مكثات خزن الطاقة تفضل الأنواع بالخزن الالكتروستاتيكية فى عمليات لحام الدرز ولأن ماكينات تغيير التردد لا تقل عنها كثيرا فى هذه المهمة .

الاعتبارات الميتالورجية فى لحام المقاومة الكهربائية :

تتعرض وصلات اللحام بالمقاومة الكهربائية للتسخين المركز فى منطقة ضيقة هى بقعة اللحام بجانب تأثير الضغط الميكانيكى على هذه المنطقة وما حولها كل ذلك يتم فى زمن قصير . ومن وجهة النظر الميتالورجية تتأثر هذه المنطقة بالتشكيل اللدن بسبب ارتفاع درجة الحرارة وبالتالي انخفاض جهد الخضوع بجانب حدوث انتشار ذرى بين طرفى الوصلة عبر سطح الانفصال . ورغم أن معدل الانتشار يكون مرتفعا عند درجات الحرارة المرتفعة إلا أن الزمن القصير الذى يتم خلاله اللحام (ثانية أو جزء من الثانية) ووجود الأكاسيد كعائق موضعى فإن الانتشار رغم أنه يتم لا يكون بالقدر الذى يصبح معه مؤثرا سواء فى إزالة الأكاسيد أو القضاء على العيوب عند سطح الانفصال . وبالتالي لا يكون هناك بد من صهر المنطقة للتخلص من الأكاسيد (بتكويرها) وهو الأمر الذى يحدث فى عمليات اللحام بالمقاومة . وفى لحام البقعة تأخذ المنطقة المنصهرة شكل عدسة Nugget تعود وتتجمد شاملة للأكاسيد المتجمعة بمجرد انقطاع تيار التسخين .

وتنطبق كل هذه الظروف على كل عمليات اللحام بالمقاومة الكهربائية عدا لحام الوميض الذى يتميز كما سبق الإشارة إليه بطرده لدفعات من المنصهر على السطح مصاحبا معه الأكاسيد السطحية ومن ثم حدوث الالتحام عبر سطح انفصال نظيف . وفى كل الأحوال يحدث التسخين بصورة تكاد تكون صادمة أى تسخين سريع ومركز فى منطقة محدودة إذ أن الزمن القصير الذى يتم فيه لا يتيح للحرارة المتولدة فرصة التسرب بعيداً وبالتالي يحدث التبريد بمعدل يقرب من معدل التسخين بتسرب الحرارة حول بقعة اللحام (المنصهرة) وهذه المنطقة هى التى يطلق عليها المنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) Heat Affected Zone

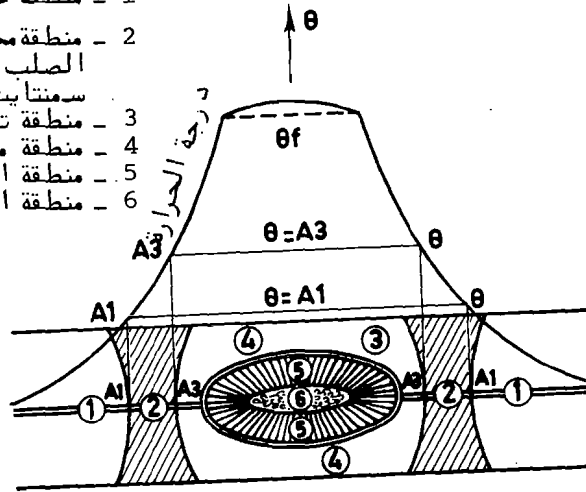
أى أن بقعة اللحام تتأثر بدورة حرارية سريعة وتتدرج المناطق المحيطة بها فى سرعة تطور الدورات الحرارية التى تتعرض لها (تسخيناً وتبريداً) كلما ابتعدنا عن بقعة اللحام . وبهذا المفهوم يمكن دراسة ما تتعرض له المعادن والسبائك المختلفة خلال لحامها بالمقاومة الكهربائية . وللتبسيط يمكن تقسيمها إلى فلزات نقية وسبائك بطور واحد مثل النحاس الأصفر والصلب الفقى فى الكربون (α) فيرايت والسبائك التى تتصلد بأسلوب التحول المارتنسى والسبائك التى تتصلد بالتعتيق (خلال الترسيب) .

فعند لحام الفلزات النقية بصفة عامة لا يتم أى تغيير فى خواصها الفيزيائية بسبب دورة التسخين التى تتعرض لها اللهم إلا إذا كانت هذه الفلزات مشكلة على البارد قبل لحامها وفى هذه الحالة نجد أن المنطقة المتأثرة بالحرارة تزول إجهاداتها الداخلية وتبدأ حبيباتها فى إعادة تبلورها وربما تغلظ حبيباتها فى المناطق التى أفرط فى تسخينها (الملاصقة للعدسة المنصهرة) إلا أن هذه المناطق الثلاث (المزال إجهاداتها والمعاد تبلورها والمغلظة حبيباتها) تكون ضيقة فى مجموعها كلما قصر زمن اللحام حتى أنه يصعب الكشف عنها مجهرياً .

أما السبائك التى تتكون من أكثر من طور فإنه يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع من وجهة نظر التأثير بالدورة الحرارية أثناء اللحام

بالمقاومة الكهربائية . أولها تلك الأنواع التي تكون عناصر مكوناتها ذائبة ذوبانا تاما في الحالة الجامدة أو تلك التي تكون عناصر مكوناتها غير ذائبة إطلاقا في الحالة الجامدة فهذه الأنواع لا تتأثر بالدورة الحرارية وتسلك في ذلك الشأن مسلك الفلزات النقية وتسرى عليها ما يسرى على الفلزات النقية من ناحية زوال الإجهادات الداخلية وتغلظ الحبيبات . أما الأنواع الثانية: فهي تتصلد خلال الدورة الحرارية بالتحول المرتنسي في مثل أنواع الصلب الكربوني متوسط وعالي الكربون بـ 0,3 % , 2 % كربون) وكذلك البرونز الألومنيومي . وتشتمل الأنواع الثالثة على: السبائك التي تذوب عناصر مكوناتها ذوبانا محدودا في بعضها البعض وهي تتصلد بالترسيب (التعتيق) مثل سبائك بعض أنواع النحاس الأصفر المركبة والدورالومين والبرنزات وأهمها برونز البريليوم .

- 1 - منطقة غير متأثرة بالحرارة .
- 2 - منطقة محددة بالخطوط الحرجة لتحول الصلب إلى حبيبيه مع بيرليت + سمنتايت متكور .
- 3 - منطقة تسخين فوق الحد الحرج .
- 4 - منطقة محيطة بمنطقة الانصهار .
- 5 - منطقة انصهار بينية شجرية موجهة .
- 6 - منطقة انصهار بينية حبيبية متكورة .



شكل (1 - 340)

اللحام بالصد م الكهرومغناطيسي Electro magnetic Impact welding :

يمكن لحام المعادن بصد م أجزاء بعضها مع البعض بقوة وسرعة فائقين كما يحدث في اللحام بالمتفجرات السابق الإشارة إليه .

وهذه الطريقة تستخدم أساسا في لحام الجلب والأنابيب والأعمدة المسمطة التي تمثل وصلات متراكبة . فيمرر تيار كهربائي شديد في ملف سلكي دقيق الشعيرات ويغذى التيار الشديد من مجموعة مكثفات مشحونة فيمرر التيار ويحرق الملف ويختره وتنقطع الدائرة الكهربائية بعد ميكرو ثانية واحدة وينشأ عن هذا المجال المغناطيسي المتولد والمتلاشي فجأة توليد تيار شديد في المشغولة الذي يتقلص جزؤاها الخارجى بصورة صادمة بالإضافة إلى موجة صدمة ميكانيكية إضافية عكسية بتأثير الملف المتبخر من الداخل . ويمكن أن يتم اللحام على البارد فنحصل على سطح اللحام متجعد يشبه ذلك الناشئ عن اللحام بالمتفجرات .

كما يمكن إتمام اللحام بهذه الطريقة على الساخن وحينئذ تشبه الوصلة اللحام بالانتشار دون أن يكون بسطح الالتحام تجعدات ويمكن أن يتم التسخين بالتيارات الحثية باستخدام نفس الملف المسبب للصد م الكهرومغناطيسية .

يستخدم في هذه الطريقة الطاقة الميكانيكية وحدها في إتمام عملية اللحام فقط يتم تحويل جزء منها إلى طاقة حرارية لتسخين المشغولة بينما يستخدم الجزء الباقي في الضغط لإتمام الالتحام . وتستخدم طريقة اللحام هذه أساسا في لحام أطراف الأعمدة الأسطوانية أو لحام طرف عمود مع أى سطح آخر لمشغولة ، فيثبت أحد أجزاء المشغولة في الجزء الثابت من مكنة اللحام بينما يثبت الجزء الثاني من المشغولة في الجزء الدوار من المكنة ويدفع أحد الجزئين تجاه الآخر حتى يتلامس السطحان ويحتكوا بقدرة تناسب مع قوة الضغط بينهما وترتفع درجة الحرارة بمعدل يتوقف على سرعة الدوران ومقدار الضغط فتبدأ الالتحامات بين القمم الناشئة من خشونة السطح فيما يشبه العض ثم تكسر هذه الالتحامات بالقص المباشر نتيجة للحركة النسبية بين السطحين ويصاحب ذلك نزع للأكاسيد والملوثات السطحية وطرد هائل إلى خارج أسطح التلامس ، وتؤدي عملية الالتحامات والقص في النهاية إلى تشكيل لدن في السطحين وهي حالة تظل مستقرة لفترة طويلة ويستمر معها بثق المعدن الزائد نتيجة للضغط إلى خارج السطحين فيزداد سطح الالتحام عن مساحة المقطع الأصلية للمشغولة ومن البديهي أن يتم بثق هذه الزيادات على حساب نقص في طول المشغولة . وبعد الوصول إلى عزم دوران (مقاوم) مناسب يوقف الدوران ويزاد الضغط المحوري بين طرفي المشغولة لزيادة الالتحام . ويمكن الاستغناء عن الضغط الأخير في حالة لحام مشغولات الصلب اللدن .

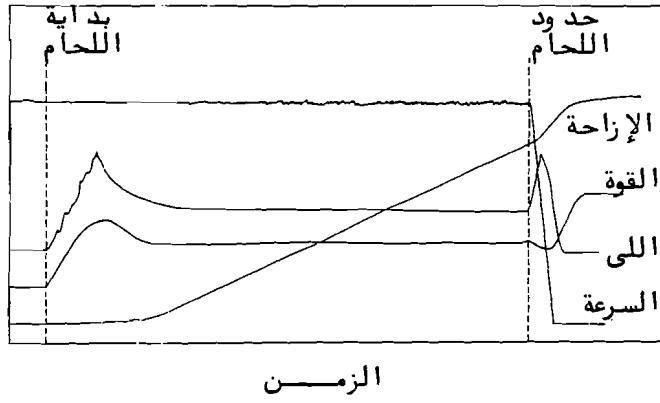
ويمكن أن يتم اللحام بالاحتكاك إما بالدوران المستمر على مكنة لحام تشبه المخروطة حيث يثبت جزء المشغولة في الطرف الدوار المركب في الغراب الثابت بينما يربط الجزء الثاني للمشغولة في حامل ثابت مكان الغراب المتحرك ويستمر الدوران بعزم محوري المكنة طوال فترة اللحام وبسرعة دوران ثابتة . إلا أنه يمكن من ناحية

أخرى تركيب حدافة كبيرة الحجم على محور الجزء الدوار لمكنسة اللحم وذلك لاختزان قدر كبير من طاقة الحركة الدورانية ثم يُدْفَعُ جزء المشغولة تجاه بعضها البعض وتفصل القوة المحركة فتستمر الحركة بتأثير عزم القصور الذاتي وترتفع درجة الحرارة مع انخفاض تدريجي للسرعة الدورانية حتى تسكن تماما عند انتهاء عملية اللحم .

ويوضح شكل (1 - 344) تطور كل سرعة الدوران وعزمه وقوة الضغط وتحرك جزء المشغولة تجاه بعضها البعض أثناء الالتحام كل ذلك مع الزمن وذلك في حالة اللحم بالدوران المستمر والذي لا يختلف في خواص نتائجه مع اللحم بالدوران بالقصور الذاتي ويتضح من الشكل المذكور أن دورة اللحم تتألف من ثلاث مراحل الأولى يتم فيها الاحتكاك الجاف وحيث تزال الأكاسيد يعقبه على التوالى المرحلة الثانية التي فيها يحدث التحام القمم والقص (العض والكسر) وتنتهى هذه المرحلة بارتفاع عزم الالتواء (عزم الدوران) إلى الحد الأقصى ثم هبوطه في المرحلة الثالثة عندما يبدأ التشكيل اللدن والبثق وفي هذه المرحلة تتولد معظم الحرارة اللازمة للحام (85 % من الحرارة الكلية للدورة) .

وفي لحام الصلب بالاحتكاك تختار سرعة محيطية للقطر الأكبر للمشغولة بحيث تكون في حدود 500 mm / s أما قوة الضغط المحوري فتتراوح بين 15 ، 75 N/m من انخفاض الطول أما الزمن فيتوقف على مقدار المعدن المبثق (الزيادة في القطر عند سطح الالتحام) المطلوب وعلى نوع المعدن ودرجة الحرارة اللازمة لتحقيق التحام أسطحه .

وتستخدَمُ هذه الطريقة في لحام السيقان والأعمدة من قطر 5 mm إلى 100 mm أو ما يعادل مساحة مقطعها من أنابيب. وفي لحام المعادن غير المتشابهة مثل لحام سيقان



شكل (1 - 344)

المثاقب المصنوعة من الصلب الكربوني مع الجزء الحلزوني المصنوع من صلب السرعات العالية .

اللحام بالموجات الصوتية فوق حد السمع Ultrasonic Welding

تشبه هذه الطريقة من اللحام طريقة اللحام بالاحتكاك من ناحية المبدأ إذ يتم التسخين وإزالة الأكاسيد السطحية بالاحتكاك بالحركة النسبية بين سطحي الوصلة ، في الاحتكاك كانت الحركة النسبية دورانية بينما تكون في اللحام بالموجات الصوتية فوق حد السمع حركة اهتزازية Vibration . والموجات الصوتية هي بصفة عامة موجات ميكانيكية تحتاج إلى وسيط لانتقالها على عكس الموجات الضوئية والكهرومغناطيسية التي يمكن أن تنتقل في الفضاء دون وسيط .

فإذا ثبت طرفا الوصلة بين سندان Anvil ورأس (قطب)

مهتزة بتردد مرتفع وكان سطحها الوصلة متلامسين فإن التحامهما يتم على السطح المشترك ويسمى القطب المهتز القطب الصوتي سونوتروود Sonotrode (مثلما يسمى القطب الحامل للكهرباء فى لحام القوس إلكترود Electrode) وهو يولد اهتزازات عرضية وانزلاق محلى بين السطحين المتلامسين محطما بذلك الطبقة السطحية الرقيقة عليها وتوليد الحرارة وينشأ عن ذلك التحام السطحين بالضغط على الساخن .

وتتكون مكنة توليد الموجات الصوتية ذات التردد المرتفع فوق حد السمع من ترانسد يوسر (محول الطاقة) الذى هو عبارة عن مذبذب رنان بالتقبض (التخصص) المغنطيسي resonant laminated magnetostrictor ومحول سرعة velocity transformer الذى يصنع من معدن مرتفع فى مقاومته للإجهادات ومنخفض الفاقد مثل التيتانيوم. ومشغل بأبعاد تتناسب مع طول موجة الذبذبة والمعدن المستخدم من إذ تربطهما العلاقة .

$$f = \lambda \cdot E$$

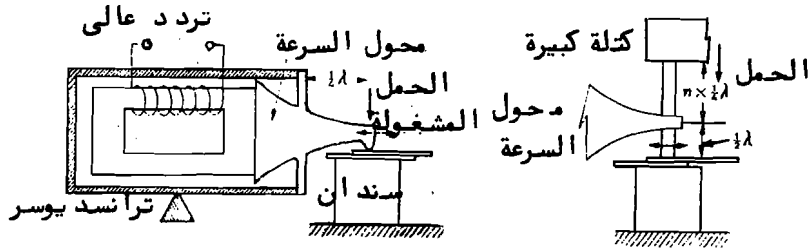
f = تردد الذبذبة
 λ = طول موجة الذبذبة
 E = معامل المرونة للمعدن

ولذلك يصلح كل مذبذب بأبعاد معينة للعمل على تردد معين فقط ويصنع الساند (السندان) بحجم كاف ليمنع جزء المشغولة الساند إليه من التحرك استجابة للاهتزاز المنتقل عبر المشغولة من القطب الصوتي (السونوتروود) . أما السونوتروود فيجهز بطرف مصلد من صلب السرعات العالية Hss أو سبيكة النيونيك Nimonic التى تكون قابليتها للحام ضئيلة لارتفاع معامل مرونتها عند درجات الحرارة المرتفعة (درجة اللحام) ويكون سطح طرف السونوتروود بنصف قطر يبلغ 75mm ويلحم هذا الطرف مع جسم السونوتروود بالسبائك الصهيرة الصلدة (المونة) .

أما الضغط اللازم لاتمام اللحام فيتم بين طرف السونوترود والسندان الساند للمشغولة بالضغط الهيدروليكي أو الهواء المضغوط أو بنابض (ياي) حسب حجم وحدة اللحام (تستخدم النوابض فى المكثات الصغيرة) .

وشكل (1,2 - 346) يبين تخطيطا لطريقة اللحام بالموجات الصوتية فوق حد السمع والذي يشبه فى معالنه طريقة اللحام بالبقة بالمقاومة الكهربائية من حيث كونه يلحم فى شكل بقع إذا تصورنا طرف السونوترود مكان إلكترود اللحام ووحدة توليد الموجات الصوتية مكان محول التيار ، وكما كان بالا مكان تحويل لحام البقة بالمقاومة الكهربائية إلى لحام خطى seam بالبقع المتتالية المتراكبة باستخدام عجلات كالإلكترودات فإنه يصبح بالا مكان كذلك عمل لحام خطى بالموجات الصوتية باستخدام عجلات قرصية توضع فى طرف السونوترود بعد محول السرعة وتدار هذه العجلات بحركة دائرية متقطعة بخطوة تتوقف على المسافة بين مراكز البقع الملحومة .

وتتراوح الطاقة المستخدمة فى هذه الطريقة بين بضعة واطات إلى عدة كيلواطات . أما قوة تثبيت المشغولة فتتراوح أيضا بضعة عشرات نيوتن إلى بضعة كيلو نيوتن فى المشغولة الكبيرة

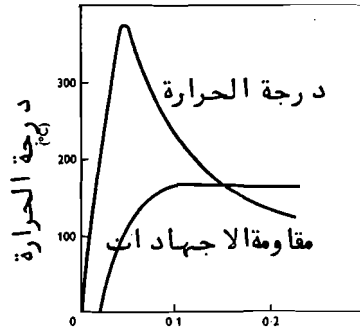


شكل (1 - 346)

ويصل تردد الموجات الصوتية الى 10^5 Hz إلا أن الشائع هو استخدام تردد 20 kHz .

أما آلية الالتحام بهذه الطريقة فهي تشبه عملية اللحام بالاحتكاك تماما من ناحية تحطيم الأكاسيد السطحية واللتحام القمم وتقصفها بالحركة النسبية وتجميع الأكاسيد وتوقعها بالتشكيل الموضعي لللدن ثم انتشارها تحت سطح المعدن فيصبح نظيفا مهيا للحام بارتفاع درجة الحرارة والضغط . ومن البديهي أن التحضير الأولي لأسطح اللحام بالتنظيف الميكانيكي والكيميائي يساعد كثيرا على انتاج وصلات أكثر جودة بسبب غياب معظم الأكاسيد . ويقدر ارتفاع درجة الحرارة اللازم لعملية اللحام بنحو نصف درجة حرارة الانصهار (المطلقة) .

ولما كان ارتفاع درجة الحرارة ناشيء أساسا من الاحتكاك بسبب الانزلاق العرضي المتولد عن الاهتزازات بالموجات الصوتية مرتفعة التردد فإننا نجد أن درجة الحرارة ستتوقف على تردد الموجة الصوتية وشدتها ومعدن الشغلة وكذلك نجد أنه بمجرد إتمام الالتحامات الأولية عند القمم ينخفض توليد الحرارة بسبب انتقال الموجات الصوتية عبر الجسور المتكونة وانعدام الحركة النسبية بالانزلاق بين أسطح جزأى المشغولة ثم يعود تولد الحرارة فور تقصف الالتحام عند القمم وهكذا وشكل (1 - 347) يوضح تطور درجة الحرارة ومقاومة الإجهادات للحام مع زمن اللحام .



الزمن (ثانية)
شكل (1 - 347)

وتستخدم هذه الطريقة من اللحام أساسا في لحام الألواح المعدنية الرقيقة ولو أنه أمكن لحام ألواح بثخانة بلغت 2.5 mm .

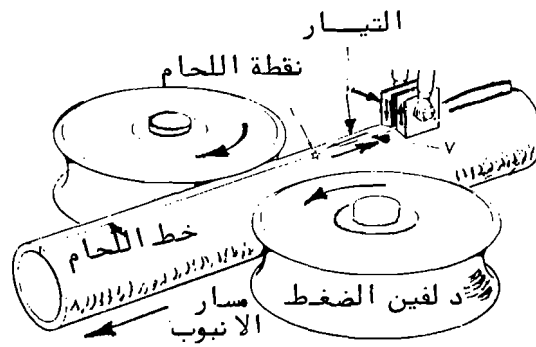
وتتميز هذه الطريقة عن لحام البقعة بالمقاومة الكهربائية بأنه يمكن لحام ألواح المعادن ذات التوصيلية الكهربائية المرتفعة مثل النحاس والألمنيوم وهو أمر يصعب إتمامه بالمقاومة الكهربائية التي تعتمد على المقاومة الذاتية لمعدن المشغولة .

كما تتميز طريقة اللحام بالموجات الصوتية بقلة تشويهها للمشغولة بسبب عدم ارتفاع درجة الحرارة بالقدر الذي تصل إليه في اللحام بالمقاومة الكهربائية . ولذلك فإنها تصلح بصفة خاصة للحام المواد الحساسة لدرجة الحرارة إلا أن ارتفاع تكلفتها وحدود قدراتها يجعلها مقتصرة على المشغولات الدقيقة مثل المستخدمة في الصناعات الإلكترونية .

اللحام بالمقاومة الكهربائية بالتردد المرتفع :

High Frequency Resistance Welding

تشابه هذه الطريقة اللحام التناكبي بالمقاومة الكهربائية التي يستخدم فيها التيار المتردد ذي التردد المنخفض المعتاد (50 HZ) إلا أنه يستخدم في هذه الحالة التردد المرتفع الذي يبلغ نحو (450 k HZ) مع زيادة الجهد إلى نحو 100V . وهذه الطريقة تستخدم أساسا في لحام الأنابيب شكل (1 - 349) وخاصة المعادن غير الحديدية والتي تكون أكاسيدها مقاومة للحرارة والتي تبتق خارج الوصلة أثناء اللحام مع ما قد يكون صهرا من سطح المعدن . ويتم التسخين والضغط للمواسير



شكل (1-349)

بعد تشكيلها باللف من ألواح وإتمام اللحام في خط طولى
 Seam Weld ويوصل التيار مرتفع التردد عن طريق قطبين عند
 موقع اللحام (بدء التسخين) الذى يسبق بقليل دلفينى ضغط
 الطرفين للحامهما بالضغط بعد تسخينهما بالتيارات الحثية
 (سطحية) ووصولهما إلى درجة اللحام بالضغط . والتردد
 المرتفع للتيار يسمح بتوليد الحرارة سطحية ولعمق ضئيل جداً
 إذ أن العمق الذى يتغلغله التيار يتناسب عكسياً مع التردد
 المستخدم وفى هذا المقام نتحدث عن التسخين الجلىدى
 Skin Heating $\approx 0,75 \text{ mm}$ ويعبر التيار فى مسار شق الوصلة
 الذى يشبه حرف V بنقطة التلاقى قبيل دلفينى الضغط فبمجرد
 انغلاق الشق يبدأ الالتحام بالضغط منتجاً لحاماً فائق الجودة .
 ولا يسبب توصيل قطبا التوصيل مع المشغولة مشكلة ما فى هذه
 الحالة حتى لو كانت الأسطح صدئة وذلك بسبب ارتفاع جهد التيار
 والذى يمكن بدوره من استخدام طاقة كهربائية مرتفعة مع شدة تيار
 منخفضة نسبياً . وتتراوح شدة التيار المستخدمة بين
 200 ، 2000 A بقدر وحدة مقدارها 60 kW
 حيث يتم لحام أنابيب رقيقة بسلك 0,6 mm بمعدل يصل إلى
 1,5 m/s . وتتوقف سرعة اللحام على ثخانة الأنبوب .

ولا يقتصر اللحام هنا على الأنابيب بل يمكن لحام وصلات متراكبة وأركان وزاوية مزدوجة .

اللحام بالانتشار Diffusion Welding

شكل (1-351)

تعتبر هذه الطريقة امتدادا للحام بالضغط على الساخن السابق ايضاحها إلا أنه في اللحام بالانتشار يمتد زمن الضغط بين سطحي طرفي الوصلة تحت درجة الحرارة المرتفعة . وامتداد الزمن هذا يتيح امكانية خفض الضغط عن القدر اللازم للتشكيل اللدن الذي كان متبعاً في حالة اللحام بالضغط على الساخن بل يجب أن يكون الضغط بالقدر الذي يكفي لتحقيق تلامس السطحين تلامساً وثيقاً . ويقتضى الأمر حماية طرفي الوصلة بغاز واق أو وضعهما في جو مفرغ بيلغ 10^{-3} تور نظراً لطول زمن اللحام لبضعة دقائق في درجة الحرارة المرتفعة (1000°C للصلب) بدلاً من قصرها على ثوان معدودة في اللحام التقليدي بالضغط على الساخن . ويحقق الارتفاع في درجة الحرارة ليس فقط التلامس الوثيق بل التخلص من الغازات والأكاسيد الموجودة في السطح البيني لطرفي الوصلة عن طريق انتشارها داخل المعدن وليس بتحطيمها بالتمدد الناشئ من التشكيل الذي يحدث في اللحام بالضغط على الساخن . ويتم انتشار الأكاسيد والغازات من السطح إلى داخل المعدن في المواقع الخالية من الخلايا أو على طول حدود الحبيبات ويخضع هذا الانتشار لقانون الانتشار المعروف

$$D = D_0 e^{-E/RT}$$

حيث

D = معامل الانتشار (كمية المنتشر المنتقل إلى وحدة مكعبة من الجزء المنتشر إليه في وحدة الزمن وبوحدة انحدار في التركيز بينهما)

R = ثابت الغاز .

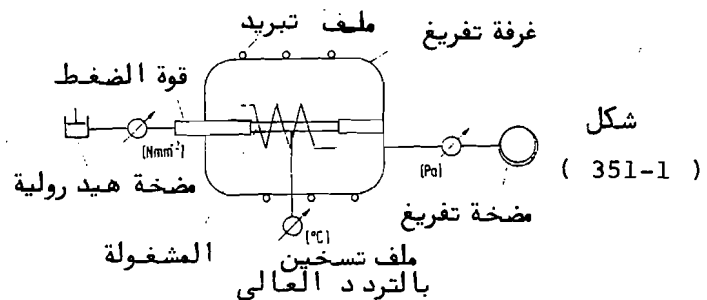
T = درجة الحرارة المطلقة .

D_0 = ثابت أبعاده هي أبعاد D .

E = طاقة التنشيط اللازمة لتحريك الذرات من مكان لآخر .

ويتم الانتشار في هذه الطريقة من اللحام إما في الحالة الجامدة حيث تذوب طبقة الأكسيد السطحية وتنتشر داخل المعدن ويتحقق ارتباط السطحين ، وإما أن يتم في الطور المنصهر . وعادة ما تصل درجة الحرارة 70 % من درجة حرارة انصهار معدن الوصلة (درجة كلفن) ويتراوح الضغط بين 5 N/mm^2 و 15 N/mm^2 والزمن بين 2 ، 3 دقائق ويمكن استخدام اللحام بالتشاور في لحام المعادن غير المتشابهة أو لحام المعادن المتشابهة مع وضع رقيقة من معدن مختلف بين طرفي الوصلة وفي هذه الحالات تتحدد درجة الحرارة بالدرجة التي تكفي لتكوين طور منصهر على السطح والذي يساعد بدوره على تنظيف الأسطح وتحقيق الارتباط .

ومن أهم مميزات طريقة اللحام بالانتشار: انعدام التشكيل عند موقع اللحام، وانخفاض الضغط اللازم إلى نحو 10% من الضغط اللازم للحام بالضغط على الساخن .



التجهيز للحام :

تجهز الأسطح بتسويتها بجودة عالية تتراوح بين $0.2 \mu m$, $0.4 \mu m$ (CLA متوسط الارتفاع من المحور) كما يجب أن تكون خالية من أي ملوثات أو شحوم وكلما زادت جودة السطح كلما أمكن أن تقل درجة الحرارة التي يلزم عندھا اتمام الانتشار في اللحام وإذا تعذر الوصول إلى جودة السطح المنشودة فيمكن وضع رقيقة معدنية لدنة مثل النيكل عند لحام وصلات الصلب لتعويض خشونة السطح وتحقيق تلامس الأسطح . ويجب أن يكون الضغط والزمن المستخدم مثن بقدر يكفى لتحقيق الاندماج بسرعة بين السطحين المطلوب لحامهما لكنهما لا يجب أن يصلا إلى الحد الذى يترتب عليه زحف المعدن عند درجة الحرارة المستخدمة .

ويتم الارتباط بالانتشار أساسا باليتين متداخلتين ففي البداية يتم تفتت الأكاسيد السطحية وانتشارها داخل معدن الوصلة فالمعادن التى تذوب أكاسيدھا مثل التيتانيوم والحديد يسهل لحامهما . أما المعادن ذات الأكاسيد صعبة الانصهار مثل الألومنيوم فلا يتيسر لحامهما ما لم يتوفر طبقة منصهرة على أسطح اللحام تتولى تحطيم الأكاسيد على هذه الأسطح . والآلية الثانية هى التخلص من مخلفات الأكاسيد والفقايع أو المسام المتخلفة عن انتشار الأكاسيد والغازات إلى داخل المعدن ويتم ذلك بالضغط تحت درجة الحرارة المرتفعة بتشكيل السطحى الموضعى .

الاستخدام :

تستخدم هذه الطريقة في لحام اللقم الكربيدية فى أدوات القطع. وفى لحام الأجزاء المصنوعة من التيتانيوم فى معدات الفضاء . وفى لحام الأجزاء غير المتشابهة التى تستخدم فى درجات الحرارة المنخفضة وكثير من التطبيقات الكهربائية وكذلك التغطية السطحية بمواد خاصة . للحماية من البرى وفعل الحرارة والتأكسد .

الباب السادس

اللحام بالسبائك الصهيرة الصلدة (المونة) Brazing
والسبائك الصهيرة اللدنة (القصدير) Soldering

لا تنتمى هذه الطريقة من اللحام إلى أى من طرق اللحام بالصهر أو اللحام بالضغط على البارد أو بالضغط على الساخن إذ لا يصهر طرفا الوصلة ولا يضغط طرفاها بعضهما تجاه بعض لا على الساخن ولا على البارد ، إنما يسخن طرفا الوصلة إلى درجة حرارة انصهار سبيكة إضافية وتكون هذه الدرجة أقل من درجة حرارة انصهار مادة طرفى الوصلة إذا كان طرفاها متشابهان فى التركيب وأقل من درجة حرارة انصهار طرف الوصلة الأقل انصهارا فى درجة حرارته إذا كانا مختلفين فى التركيب. وبمعنى آخر فإنه يختار معدن أو سبيكة إضافية تنصهر فى ثغرة الوصلة ويربط طرفاها عندهما تتجمد بما يشبه رباط طوب البناء بالملاط (المونة) ومن هنا أُشتقت التسمية الدارجة . أما التسمية العلمية فهى اللحام بالسبائك الصهيرة أى التى تنصهر فى درجة حرارة منخفضة عن المعدن الأصل للوصلة أما كونها صلدة (مونة) أو لدنة (قصدير) فهذه تسمية تصنيفية اختيارية لتقسيم سبائك اللحام فى مجموعتين تنصهر الأولى منها فوق درجة حرارة 450 درجة مئوية وبينما تكون درجة حرارة انصهار المجموعة الثانية أقل من 450 درجة مئوية وتكون المجموعة الأولى صلدة وذات مقاومة إجهادات مرتفعة نسبيا مقارنة بالمجموعة الثانية ولهذا السبب نشأت الصفة اللاحقة فى التسمية صلدة أو لدنة .

ويخضع اختيار سبيكة اللحام سواء كانت صلدة أو لدنة إلى مبادئ وشروط تساعد على نجاح لحام طرفى الوصلة وأهم هذه الشروط والمبادئ :

* أن تكون درجة حرارة انصهارها أقل من درجة حرارة انصهار أى طرف من أطراف الوصلة .

* أن تحتوى على عنصر واحد على الأقل يقبل الذوبان ولو ذوبانا محدودا عند درجة حرارة اللحام ولا يهم أن يقل الذوبان

أو ينعدم عند التبريد إلى درجة حرارة الغرفة . وتكمن ضرورة استيفاء هذا الشرط في تحقيق انتشار ذرات سبيكة اللحام في المعدن الأصلي للوصلة وكذلك انتشار ذرات المعدن الأصلي في سبيكة اللحام أى يحدث بينهما تبادل ذرى عند درجة حرارة اللحام فيتم الارتباط على المستوى الذرى (المتالورجى) عند ما تبرد الوصلة لدرجة حرارة الغرفة كل ذلك دون تكوّن مركبات معدنية قصيفة نتيجة لهذا التسابك الموضعى .

* أن يكون معاملا التمدد (أو الانكماش) الحرارى لكل من معدن الوصلة وسبيكة اللحام متقاربين حتى لا تنشأ إجهادات حرارية بينهما بسبب انكماش أحدهما أكثر من الآخر .

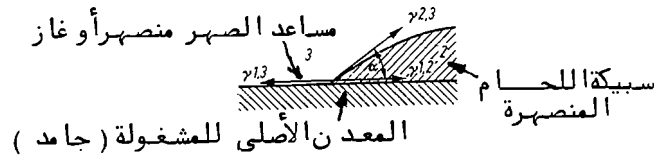
* أن يكون فرق الجهد القطبى Electrode Potential بين كل من المعدن الأصلي للوصلة وسبيكة اللحام متقاربين حتى لا يسبب فرق الجهد تآكل المعدن الذى يتصف بالجهد المرتفع نسبيا .

* أن يتم تنظيف أسطح الوصلة تنظيفا تاما بحيث تزال كل الطبقات الغريبة من شحوم أو أكاسيد أو أى ملوثات أخرى من السطح ويصبح السطح نظيفا (كيميائيا) قبل وأثناء إجراء اللحام، ويعتبر هذا الشرط هو المدخل الرئيسى لنجاح اللحام وبقدرة إتقان أو إهمال إتمامه بقدر ما يتحقق نجاح اللحام أو إخفاقه . ولذلك يستخدم مساعد صهر لاختزال الأكاسيد أثناء اللحام . وقد يكون مساعد الصهر فى صورة مادة جامدة أو معجون أو مادة سائلة أو غازية أو قد يتم اللحام بأكمله فى جو مفرغ لمنع الأكسدة وتحلل الأكاسيد الموجودة أصلا ويلعب تنظيف الوصلة دورا هاما فى تسهيل عملية بلل سطح الوصلة بسبيكة اللحام المنصهرة .

* أن يتم إبلال سطح المعدن الأصلي للوصلة بسبيكة اللحام المنصهرة اعتمادا على قوى الشد السطحي ومن ثم ملء الثغرة الضيقة للوصلة بسبيكة اللحام المنصهرة بالخاصية الشعرية وهذا البلل يعتمد على محصلة قوى الشد السطحي بين العناصر

الثلاثة وهى الشد بين قطرة اللحام المنصهرة و سطح الوصلة
 ($\gamma_{1,2}$) وبين سطح الوصلة ومساعد الصهر ($\gamma_{1,3}$) وبين
 مساعد الصهر وقطرة سبيكة اللحام المنصهر ($\gamma_{2,3}$) (شكل (1-355)
 فيجب أن تتغلب القوى الشاذة $\gamma_{1,3}$ على محصلة قوى الشد
 $\gamma_{1,2}, \gamma_{2,3}$ أى أن

$$\gamma_{1,3} \geq \gamma_{1,2} + \gamma_{2,3} \cos \alpha$$



شكل (1-355)

وإذا تحقق هذا الشرط أمكن لقطرة السبيكة المنصهرة أن تمتد
 وتنتشر على سطح الوصلة بآلة إياها ويعتبر البلل مناسباً إذا لم
 تتجاوز زاوية البلل α مقدار 30°

$$30^\circ \leq \alpha < 90^\circ$$

وعلى هذا الأساس يمكن لحام كافة المعادن وسبائكها باستخدام
 السبائك الصهيرة الصلدة اللدنة طالما كانت درجة حرارة انصهارها
 أعلى من درجة حرارة سبيكة اللحام . وطالما تم اختبار مساعد صهر
 ينصهر عند درجة حرارة دون درجة حرارة انصهار سبيكة
 اللحام بنحو 50 درجة مئوية .

وتتميز طريقة اللحام بالسبائك الصهيرة بأنها لا تسبب تشوهاً
 فى الوصلة لا فى شكلها ولا فى أبعادها فيمكن بذلك تصميم الأجزاء
 المعقدة الشكل بل وغير المتشابهة فى موادها، تصميمها من أجزاء
 بسيطة الشكل تجمع وتلحم بهذه الطريقة لتكون الجزء المركب
 أو المعقد فى شكله وقد يتم ذلك فى صورة فردية يدوية أو أوتوماتياً
 أو قد يتم فى خط إنتاج غزير أوتوماتى وفى وقت قصير وبصورة اقتصادية

حتى لو استخدمت سبائك لحام مكلفة مثل الفضة أو الذهب ———
أو البلاتين بسبب ما ينشأ من توفير في الوقت والعمالة والمعدات
المكلفة .

سبائك اللحام الصهيرة ومساعدات الصهر المستخدمة معها

أولا : السبائك الصلدة Brazing Alloy

- مجموعة النحاس :

النحاس النقي وسبائك النحاس مثل أنواع النحاس الأصفر
والبرونزات وتصلح لجميع أنواع الصلب .

- سبائك الفضة :

سبائك للفضة مع النحاس والزنك والكادميوم وأحياناً
الفضة مع الفسفور والنحاس (السبائك التي لا تحتاج إلى
مساعد صهر) وتصلح لجميع أنواع الصلب والنحاس وسبائكه
والنيكل وسبائكه .

- مجموعة الألومنيوم :

الألومنيوم النقي - سبائك الألومنيوم مع السليكون تصلح
للحام الألومنيوم وسبائكه .

- مجموعة المغنسيوم :

سبائك المغنسيوم تصلح لسبائك المغنسيوم .

- مجموعة النيكل :

سبائك النيكل تصلح للصلب المقاوم للصدأ والسبائك التي تتحمل درجة الحرارة العالية .

- مجموعة الكوبلت :

سبائك الكوبلت .

وهناك كذلك مجموعات الموليبدنيم والبلاديوم والتيتانيوم والذهب والتنتاليوم .

والجدول التالي يوضح أهم السبائك المستخدمة ودرجة حرارة انصهارها .

| درجة حرارة بدء الانصهار (°م) | سبيكة اللحام | درجة حرارة بدء الانصهار (°م) | سبيكة اللحام |
|------------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1288 | نيكل - تيتانيوم | 960 | فضة |
| 1350 | نيكل - نحاس | 1083 | نحاس |
| 1427 | نيكل - كروم - حديد | 1424 | نيكل |
| 1121 | نيكل - كروم - سيليكون | 1816 | تيتانيوم |
| 1021 | منجنيز - نيكل - كوبلت | 1571 | بلاديوم + موليبدنيم |
| 1899 | موليبدنيم - بورون | 1774 | بلاتين + موليبدنيم |
| 871 | نحاس - منجنيز | 2299 | بلاتين + 30 تنجستن |
| 1306 | بلاديوم - فضة - موليبدنيم | 700-610 | فضة - نحاس - زنك - كادميوم |
| 1205 | بلاديوم - نيكل | 788-720 | فضة - نحاس - زنك - موليبدنيم |
| 1205 | بلاديوم - نحاس | 780 | فضة - نحاس - موليبدنيم |
| 1306 | بلاديوم - فضة | 971 | فضة - منجنيز |
| 885 | ذهب - نحاس | 1066 | نيكل - كروم - بورون |
| 1481 | تيتانيوم - كروم | 1066 | نيكل - نحاس - حديد - سيليكون |

مساعات الصهر :

تتكون مساعات الصهر عادة من: خليط مساحيق الكلوريدات والفلوريدات للحام الألومنيوم وسبائكها وكذلك سبائك المغنسيوم . وخليط من حامض البوريك والبوريدات والفلوريدات والفلوبوريدات مع مساعد بلل لأنواع الصلب المختلفة والبرونز الألومنيومي وتكون في صورة مسحوق أو سائل أو معجون . وتختار حسب نطاق درجات حرارة انصهارها بحيث يقع دون درجة حرارة انصهار سبيكة اللحام بقدر كاف لا يقل كثيرا عن 50 درجة مئوية . كما أن فترة انصهارها وقيامها باختزال الأكاسيد لا يجب أن تتجاوز بضعة ثوان (لا تزيد عن 20 ثانية) وإلا تشبعت بالأكسجين من الجو وبطل مفعولها وبمعنى آخر لا يجب أن تنقضي فترة بين انصهار مساعد الصهر وانصهار سبيكة اللحام تزيد عن عشرين ثانية حتى يتم التنظيف التام ومن ثم سلامة اللحام .

وبجانب مساعات الصهر المذكورة يمكن أن تستخدم الغازات المختزلة مثل الهيدروجين وأول أكسيد الكربون أو قد يتم اللحام في فرن في جو مفرغ Vacuum يتولى بجانب حماية الوصلة وسبيكة اللحام من عدوان أكسجين الهواء الجوي يتولى تحلل الأكاسيد السطحية تحت الجو المفرغ وارتفاع درجة الحرارة إلى الأكسجين والمعدن الأصلي فيسحب الأكسجين المتحرر من التحلل بالتفريغ إلى الخارج .

ثانيا : السبائك اللدنة Solders :

إن من أهم السبائك الشائعة هي السبائك بين القصدير والقصص بنسب تتراوح عادة بين 5 ، 70% قصدير والباقي قصص ويتراوح نطاق انصهارها بين 190 ، 315 درجة مئوية وهي شائعة الاستخدام لحام ألواح الصلب المقصود (الصفائح) وألواح النحاس النقي والأصفر ومعظم البرونزات وكذلك لحام

التوصيلات بالأسلاك النحاسية في الهندسة الإلكترونية (صناعة دوائر أجهزة الراديو والتلفزيون وما شابهها) . كما أن هناك سبائك أخرى لدرجة تستخدم في هذا النوع ولا يتعدى نطاق انصهارها 450 درجة مئوية حسب التعريف للحام بالسبائك اللدنة .

وأهم هذه السبائك هي :

* القصدير 95 % + 5 أنتيمون
درجة انصهارها بين 232 ، 240° م وتستخدم في الأعمال الصحية وهندسة التبريد والتكييف .

* سبيكة قصدير ورصاص المنوه عنها سابقا مضافا إليها 6 % أنتيمون وتتميز بجودة خواصها الميكانيكية .

* سبائك قصدير وفضة وسبائك قصدير ورصاص وفضة وتتراوح نسبة الفضة المستخدمة بين 0,5 ، 4 % فضة مع نسب من القصدير هي 96 ، 62 ، 5 ، 2,5 ، 1 % أما الرصاص فيكون - 36 ، 94,5 ، 97 ، 97.5 رصاص على الترتيب وتتراوح درجة الانصهار بين 220 ، 310° م ومقاومة هذه اللحامات للكلال عالية وبعضها مقاوم لارتفاع درجة الحرارة .

* سبائك قصدير وزنك بنسب تتراوح بين 30 ، 90 قصدير والباقي زنك وتتراوح درجة الانصهار بين 200 ، 375° م وأهم استخداماتها في لحام الألومنيوم وأهم خواصها مقاومتها للتآكل وفعل درجة الحرارة العالية .

* سبيكة 95% كاديوم + 5 فضة تنصهر بين 338 ، 393° م وتستخدم للحام الألومنيوم مع نفسه أو مع معادن يمكن لحامها بالسبائك اللدنة

وأهم ميزاتها: الاحتفاظ بخواص ميكانيكية مقبولة حتى درجة حرارة 220°C (يجب الحذر في استخدام هذه السبيكة بسبب خطورتها على الصحة بسبب وجود الكادميوم والأبخرة المتصاعدة منه).

* سبائك الكادميوم والزنك وتحتوى على نسب 82,5 ، 40 ، 10% كادميوم + 17,5 ، 60 ، 90 % زنك على الترتيب وتتراوح درجة حرارة الانصهار بين 262°C ، 400°C م وتتميز هذه السبائك بمقاومتها للتآكل ولحام الألومنيوم (يجب الحذر من أدخنة الكادميوم لضررها على الصحة) .

* سبيكة 95 % زنك + 5 % ألومنيوم وتنصهر في درجة حرارة 382°C م وهى ذات مقاومة جيدة للإجهادات والتآكل وتصلح للحام ملفات الألومنيوم في مكيفات الهواء ويمكن الاستغناء عن مساعد الصهر إذا تم تنظيف الوصلة بحمات بالموجات فوق السمعية .

* سبائك منخفضة الانصهار وتتكون من نسب مختلفة من الرصاص بنسب من 26,7 إلى 44,5 % + البزموت من 48 إلى 55,5 % + القصدير من 12,5 إلى 22% + إما كادميوم من 8 إلى 12,5 % أو الأنتيمون بنسبة 9%. وتتراوح درجة الانصهار بين 70°C ، 124°C م وتستخدم هذه السبائك في لحام الأجزاء التي تتصف بحساسية لارتفاع درجة الحرارة مثل المعالجة الحرارية أو إتلاف وصلات مجاورة بارتفاع درجة الحرارة أو تستخدم كمصهرات عند ارتفاع درجة الحرارة بسبب حريق فتصهر وتفتح صمامات المواد المكافحة للحريق .

* سبائك الأنديوم مع القصدير والرصاص بنسب 50% قصدير + 50 % أنديوم أو 37,5 % قصدير + 25 % أنديوم + 37,5 % رصاص أو 50 % أنديوم + 50 % رصاص

ونطاق الانصهار يكون بين 117 ° م ، 210 ° م وتُستخدَم السبيكة الأولى للحام الزجاج مع نفسه أو مع معادن أخرى كما تُستخدَم هذه السبائك فى احكام وصلات التفريغ Vacuum بسبب انخفاض الضغط البخارى للإند يوم .

وهذه السبائك تأخذ أشكالاً مختلفة فمنها ما يكون على هيئة كتل أو سبكات أو قضبان أو أسلاك أو أشرطة أو ألواح ومنها ما يكون على هيئة معجون أو أسلاك محشوة بمساعد الصهر . ومنها ما يشكل بأشكال خاصة لتلائم وصلات تنتج فى الانتاج الغزير مثل الأقراص والحلقات وغيرها .

مساعدا ت الصهر :

تأخذ مواد مساعدا ت الصهر للسبائك اللدنة هيئة سوائـل أو جوامد أو غازات وتتولى مهمتها عند تسخينها بتنظيف سطح الوصلة وسبيكة اللحام من الأكاسيد والملوثات وتيسير إبلال سطح المشغولة بمصهور السبيكة . وتنقسم مواد مساعدا ت الصهر إلى ثلاثة أنواع الأولى، غير العضوية وهى أكثرها فعالية . والثانية، عضوية متوسطة فى فعاليتها ثم القلـفونيات وهى أقلها فعالية .

مساعدا ت الصهر غير العضوية :

وتتكون من أحماض وأملاح غير عضوية وهى سريعة فى فعاليتها . وتكون على هيئة محاليل ومعا جين وأملاح جامدة . ومن أهم عيوبها أن بقاياها التى قد تتخلف بعد عملية اللحام تظل فعالة وتتفاعـل مع المناطق المجاورة للحام التى تتواجد فيها ما لم يتم إزالتها تماما بعد اللحام مثل خلاط من كلوريد النوشادر وكلوريد الزنك وفلوروبوريد الزنك ، ديتانول أمين وديامين ، وكلوريد البوتاسيوم وكلوريد الليثيوم وفلوريد البوتاسيوم وكلوريد الصوديوم

وحامض الهيدروكلوريك ومواد أخرى مساعدة مثل الماء للتخفيف والجلسرين وكلوريد القصدير ومواد تساعد الإبلال .

مساعداات الصهر العضوية :

حامض هيدروكلوريك غرواني Glutamic (لـنـج)
وحامض اليوريا Urea وماء وحامض اللينيك ومواد مساعداة للإبلال .

القلفونيات :

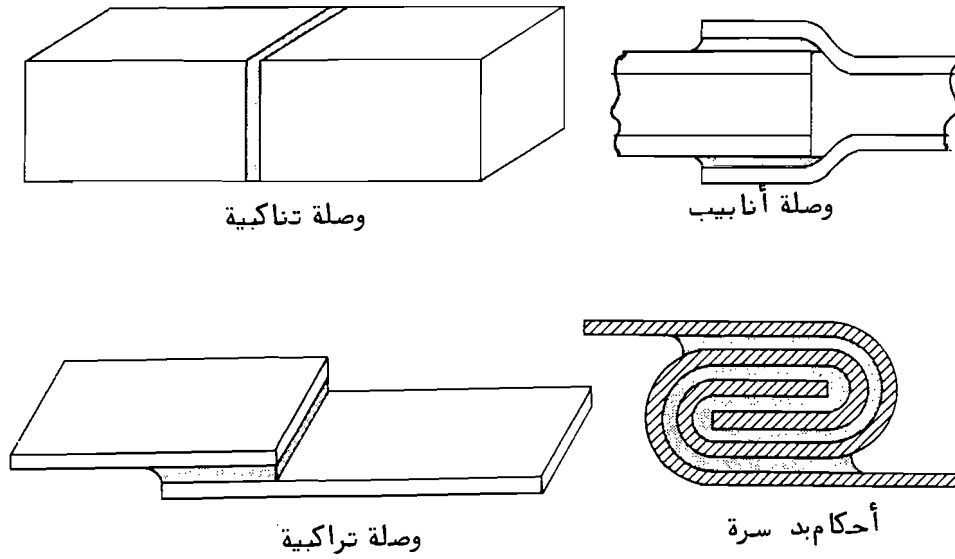
القلفونية الشفافة البيضاء - الكحول - زيت تربنتينين
روح بترول Petr. spirit - ستارين (شحم شمعى)
- حامض هيدروكلوريك غرواني (لنـج) .

مساعداات صهر خاصة :

وأهمها الأنواع الخاصة بلحام الألومنيوم إذ تتحلل عند التسخين على سطح الألومنيوم وتترك طبقة معدنية بدلاً من أكسيد الألومنيوم الذي يمنع البلل ومن ثم الالتحام .

تصميم وصلات اللحام بالسبائك الصهرة اللدنة :

تأخذ وصلات اللحام أشكالاً عديدة فمنها المتناكية التي تتحمل شدة أو ضغطاً مباشراً ومنها ما تتحمل قصاً مباشراً فـسـي الوصلات المتراكبة ومنها وصلات الدسرة التي تتحمل الاجهادات المباشرة وتحكم ضد التسرب ومنها كذلك الوصلات الكيميائية فى لحام الأنابيب وشكل (1 - 363) يوضح الأنواع الرئيسية لهذه الوصلات .



شكل (1 - 363)

تجهيز الوصلات للحام :

يتم تنظيف الوصلات لإزالة ما يعلو سطحها من ملوثات وأكاسيد وتُستخدَمُ المذيبات لإزالة الزيوت والشحوم وتُزال الأكاسيد ومخلفات الصدأ بالوسائل الكيميائية بالأحماض المخففة ثم التنظيف بالوسائل الميكانيكية كالبرد والمواد الساحجة والفرشاة المعدنية ووسائل الكشط الخفيف .

ويمكن أن يحافظ على نظافة السطح بتكسية السطح بطبقة معدنية أكثر قابلية للحام بالسبائك الصهيرة اللدنة عن المعدن الأصلي للوصلة مثل التغطية بالقصدير أو بالنحاس أو بالفضة أو الكاديوم أو الحديد أو النيكل أو سبائك منها مع القصدير وتتم التغطية بطريقة الموجات الصوتية فوق حد السمع أو الغمر في حمامات منصهرة منها أو بالترسيب الكهربائي .

وعلى هذا الأساس يمكن لحام الألومنيوم وسبائكه بسهولة تامة دون استخدام أى مساعد صهر رغم صعوبة إزالة هذه الأكاسيد

بالوسائل التقليدية .

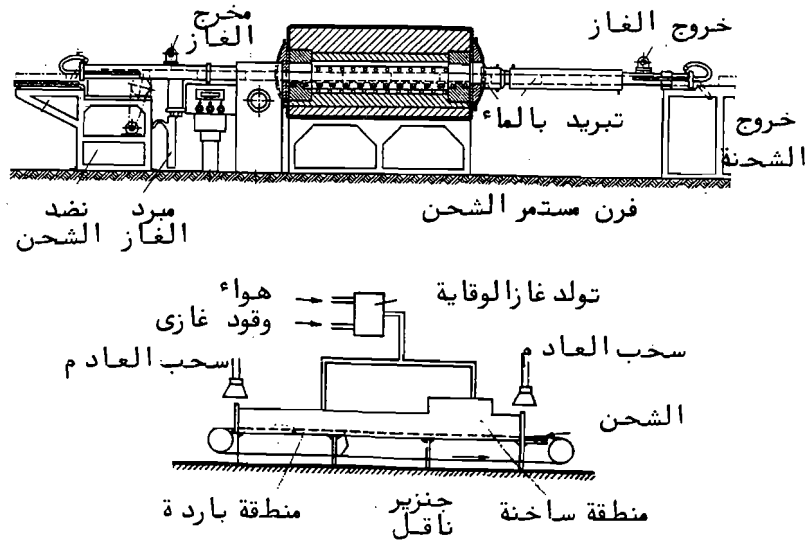
ويمكن نجاح هذه العملية في تسخين سطح الوصلة ووضع سبيكة اللحام فوقه حتى تنصهر وسنجد أنها لن تبل السطح بسبب وجود الأكاسيد . حينئذ تغمر فرشاة سلك أو من شعيرات زجاجية تحت السبيكة المنصهرة ويحرك السطح لإزالة الأكاسيد فتبدأ عملية الإبلال في المناطق التي تنتزع منها الأكاسيد وهي لن تتأكسد بسبب انعزالها عن أكسجين الجو لتغطيتها بالسبيكة المنصهر وتستمر هذه العملية حتى يتم طلاء سطح كاف من المشغولة بسبيكة اللحام وتكرر العملية في الجزء الثاني المطلوب لحامه مع الجزء الأول ثم يلامس الجزئين بعضهما ببعض ويتم التسخين مرة أخرى فتنصهر طبقة الطلاء للسطحين التي هي من سبيكة اللحام حتى يتوحد الجزآن بعد التبريد والتجمد .

طرق اللحام :

تستخدم وسائل عديدة لاتمام اللحام تتوقف على طريقة تسخين الوصلة . ويجب في كل الأحوال أن يتم التسخين بطريقة تسمح بانصهار سبيكة اللحام حينما يكون سطح الوصلة في درجة حرارة تسمح بذلك ليتيسر للمنصهر الانتشار فوق السطح وإبلاله وعدم احتباس جيوب هوائية في شغرة اللحام . ومن البديهي أن يكون التسخين كافيا للوصول إلى درجة الحرارة في كل من المشغولة والسبيكة حسب نوعيتها فالسبائك الصلدة التي تنصهر حسب التعريف فوق 450°C تحتاج إلى مصدر حراري يغطي هذا النطاق من درجات الحرارة حتى قرب انصهار المعدن الأصلي أحيانا بينما يكون المصدر الحراري متواضعا في قيمته عند اللحام بالسبائك اللدنة التي تنصهر دون 450°C .

وفي كل الأحوال يمكن أن يُستخدَم بوري اللحام بالأكسجين أستلين أو الأكسجين وأي وقود غازي آخر عند ما يتم اللحام يدويا

أو نصف أتوماتيا وذلك بعد التحكم في مستوى اللهب وموقع المشغولات منه وزمن بقائها تحت تأثيره ليوفى بالشروط السالف ذكرها . ويمكن أن يتم ذلك في فرن يحرق فيه وقود غازي مثل البوتاجاز أو غاز المدينة أو أي غاز هيدروكربوني متوفر وذلك مع الهواء وشكل (1 - 365) يبين أحد هذه الأفران وفيه يدخل الغاز مع الهواء من قمة الفرن حيث يشعل وتخرج غازات الاحتراق والعام من جانبيه وتدخل الشحنات المطلوب لحامها في سلال على ناقل جنزيري مستمر التحرك إلى داخل الفرن من الناحية اليمنى فتصادف أولا غازات العام ثم منطقة اختزال بها غاز الهيدروجين وأول أكسيد الكربون فتتولى هذه الغازات اختزال الأكاسيد السطحية وتنظف السطح ثم تصل الشحنة بعد ذلك إلى منطقة التسخين الرئيسية التي تصل بدرجة الحرارة إلى درجة حرارة اللحام المطلوبة حيثما تنصهر السبيكة وتبل الوصلة ثم تبدأ المشغولات في الخروج من ناحية الشمال وتبرد ببطء . وقد يستخدم أحيانا مساعد صهر في الوصلة في هذه الطريقة إذا اقتضت ظروف المشغولة ذلك أو إذا لم يكفي الغاز المختزل للتنظيف .

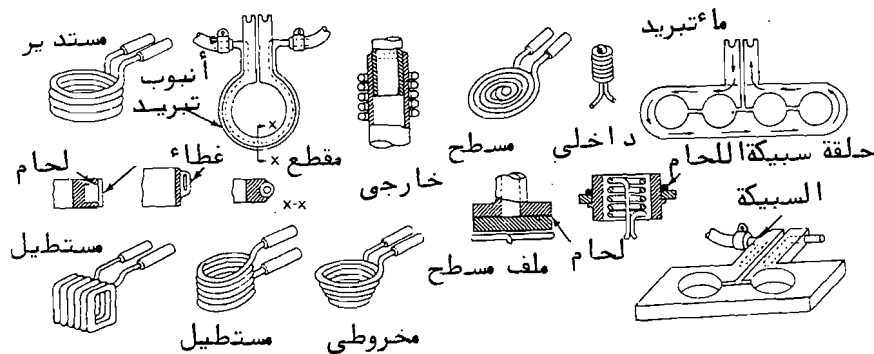


شكل (1 - 365)

ويستخدم كذلك التسخين بالمقاومة الكهربائية المباشرة للتسخين الموضعي عند الوصلة لحام تناكبي . أو تستخدم التيارات الحثية Induction لتكريز التسخين عند مواقع اللحام وذلك بتصميم ملفات التسخين بطريقة مناسبة توفى بذلك وشكل (1 - 366) يبين بعض أشكال هذه الملفات . وعادة ما تستخدم وحدات تسخين بالتيارات الحثية ذات تردد مرتفع يتراوح بين 15 ، 4000 كيلو هرتس وقدرة تتراوح بين 4 ، 20 كيلوواط .

كما يمكن استخدام الحمامات الملحية المنصهرة لتغمر فيها المشغولات وبها سبيكة اللحام ومساعد الصهر في المواقف المطلوبة فتستمد المشغولات حرارتها من الحمام الملحي الساخن حتى تنصهر السبيكة وتسرى في فجوة الوصلة كل ذلك بمعزل عن تأثير الهواء الجوى (بسبب الغمر في الحمام الملحي المنصهر) وقد يكون الحمام الملحي محتويا على مساعد الصهر .

ويمكن كذلك استخدام الحمامات المعدنية حيث تصهر سبائك اللحام وتغمر فيها المشغولات ولا يوضع مساعد الصهر إلا في المواقع المطلوب لحامها . وتستمد الوصلات حرارتها من السبيكة المنصهرة



شکل (1 - 366)

وذلك بمعزل عن الهواء الجوى وتأثيره أثناء اللحام .

كما يمكن استخدام مصدر للأشعة فوق الحمراء لتسخين الوصلة بالإشعاع وإتمام اللحام وذلك باستخدام وحدات قدرتها تصل إلى 5000 واط .

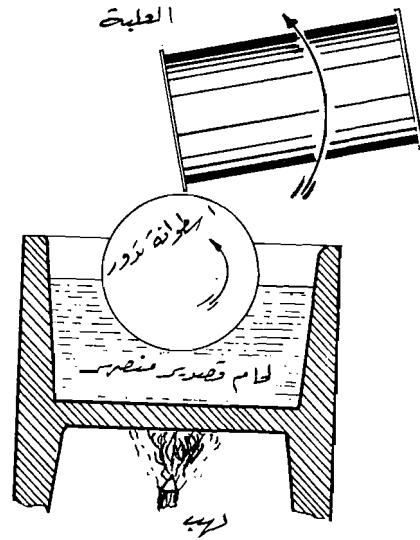
وتُستخدَمُ أحيانا طريقة توليد الحرارة من تفاعل طارد للحرارة بين مسحوق معدن شربه للاتحاد بالأكسجين ومسحوق أكسيد معدن آخر مثل طريقة الترميت السابق شرحها ويوزع مسحوق الإشعال على المنطقة المطلوب لحامها وتشعل من طرف فيسرى الإشعال فى المسحوق إلى الطرف الآخر بمعدل سريع ويسخن الوصلة إلى الدرجة المطلوبة .

كل هذه الوسائل تصلح للحام بالسبائك الصلدة واللدنة على السواء فقط يتم التحكم فى مستوى درجة الحرارة لتلائم كل سبيكة مستخدمة . إلا أن اللحام بالسبائك الصهيرة اللدنة ينفرد بطرق أخرى إضافية لا تصلح للحام بالسبائك الصلدة . وأهم هذه الطرق :

✧ استخدام كاوية اللحام وهى جسم نحاسى تختزن فيه الحرارة من مصدر لهب أو بتسخين بالمقاومة الكهربائية وهذه الكاوية تتولى تسخين الوصلة بالضغط عليها وهى ساخنة ونقل مادة اللحام المنصهرة بإبلال طرف الكاوية بها إلى موقع الوصلة ثم حك سطح المشغولة عند الوصلة لحظة التسخين وتلامس سبيكة اللحام المنصهرة بالمشغولة فتساعد على التنظيف الموضعى بالحك ومن ثم انتشار سبيكة اللحام وإبلال الموقع . (شكل 1-368)

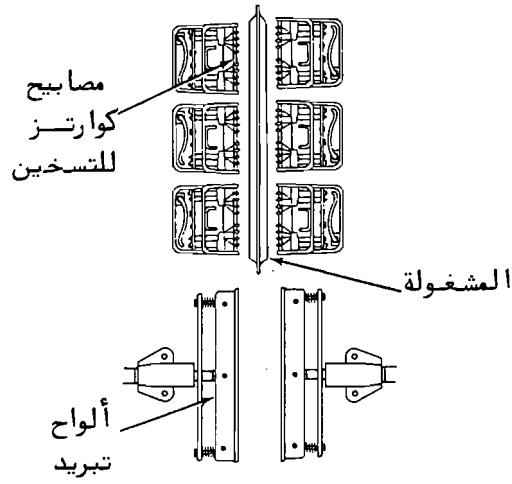
ويمكن كذلك إبلال سطح الوصلات الصغيرة مثلما يحدث فى صناعة المعلبات والدقيقه ومثلما يحدث فى لحام الدوائر المطبوعة فى الهندسة الإلكترونية نقول إبلال أسطح الوصلات بالملاسة للحظة قصيرة من جزء الثانية إلى بضعة

ثوان فتبتل الوصلة باللحام فى الموقع المغطى بمساعد الصهر .
شكل (1 - 368) ، شكل (1,2,3,4,5 - 369)

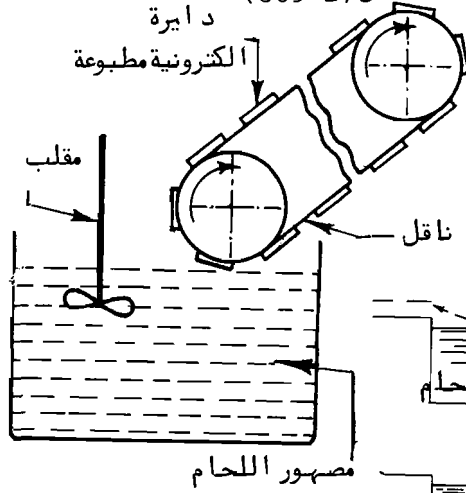


شكل (1-368)

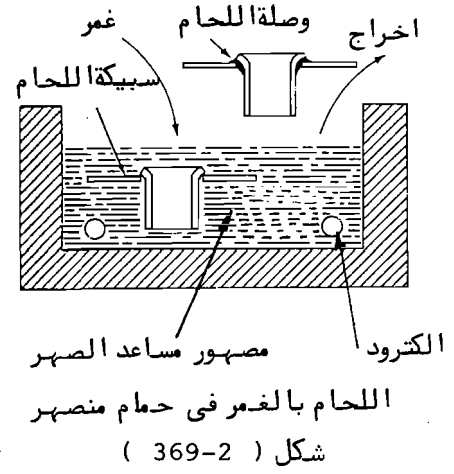
كما يمكن استخدام الموجات الصوتية فوق حد السمع للتسخين بطريقة مشابهة لما سبق شرحه فى اللحام بالضغط على الساخن إلا أن الموجات الصوتية هنا يمكن أن تؤثر بطريقة جانبية وليس أساسية بكونها تقوم بالتنظيف بتكسير الأكاسيد السطحية على الوصلة أثناء غمر الوصلة فى حمام مصهور سبيكة اللحام الذى يسخن بطريقة أخرى مثل المقاومة الكهربائية شكل (1,2,3 - 370) .



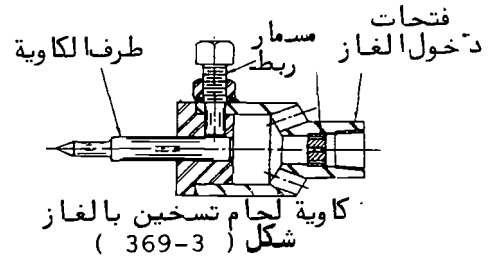
شكل (369-1)



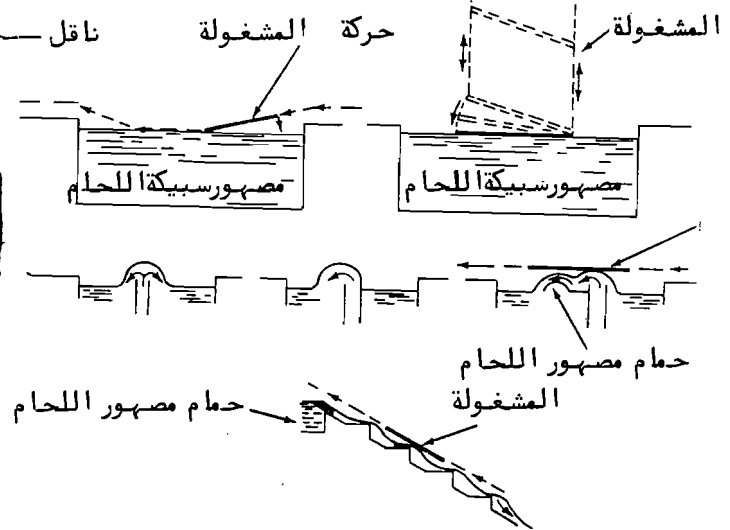
شكل (369-5)



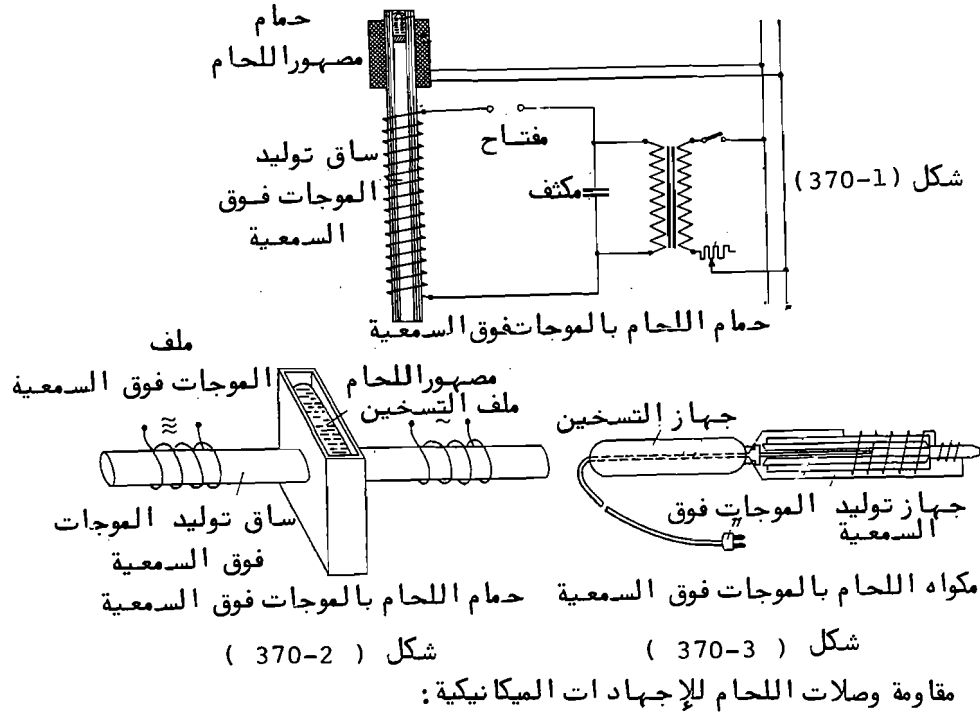
شكل (369-2)



شكل (369-3)



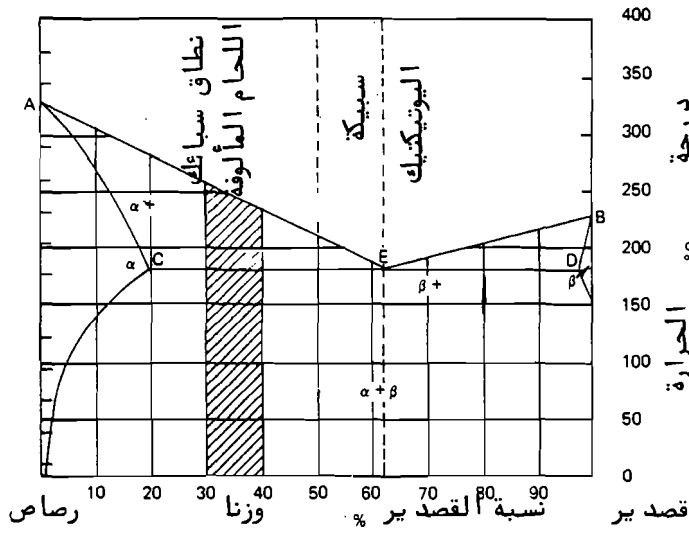
شكل (369-4)



تتمتع وصلات اللحام بالسبائك الصهيرة سواء الصلدة منها أو اللدنة بخواص مقاومة شد جيدة تصل إلى مقاومة المعدن الأصلي وقد تفوقها أحيانا إذا اختيرت متغيرات اللحام بطريقة علمية سليمة للوصول إلى الخواص المثلى وأهم هذه المتغيرات التنظيف ونوع السبيكة وطريقة العمل (دورة التسخين والتبريد) ثم الأهم عرض خلوص ثغرة اللحام ويوضح شكل (1-372) العلاقة بين الجهد الأقصى التى تتحمله الوصلة (σ_R) وبين خلوص ثغرة الوصلة ويوضح الرسم البياني كذلك مقاومة سبيكة اللحام ومقاومة المعدن الأصلي للأجزاء الملحومة لإجهاد الشد الأقصى للمقارنة. ومن الشكل يتضح أن عرض خلوص الثغرة الأمثل يكون عند نحو 0,1 ملليمتر وعنده يتفوق الجهد الأقصى للمعدن الأصلي وعند ما يقل عرض الثغرة عن ذلك تهبط المقاومة بشك حاد أما عند زيادة عرض الخلوص عن هذا الحد فإنه ينخفض أيضا وبصورة تدريجية حتى يتلاقى مع مقاومة سبيكة اللحام عند ما يصل هذا الخلوص إلى بضعة عشرات المليمترات

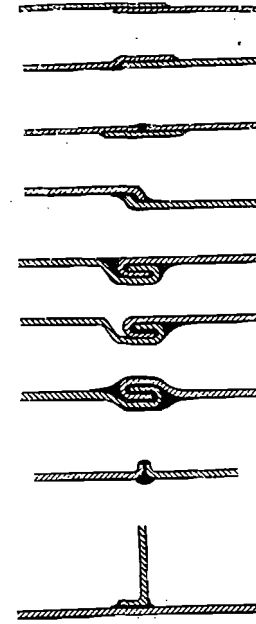
ويمكن تفسير هذه الظاهرة بتحليل الإجهادات الواقعة على طبقة سبيكة اللحام الموجودة بين طرفي الوصلة إذ أنه عند بدء التحميل تصل طبقة اللحام إلى جهد الخضوع قبل المعدن الأصلي للوصلة بسبب نقص حد الخضوع السبيكة عن المعدن الأصلي عادة لأنها تنصهر دون درجة حرارة انصهار المعدن الأصلي فتبدأ في الاستطالة استطالة لدنة محاولة زيادة سمكها (في اتجاه الشد) ونظراً لأن حجمها يظل ثابتاً فإن أية محاولة لزيادة السمك لا بد أن تكون على حساب نقص القطر ، وتحاول الانكماش إلى قطر أصغر فلا تستطيع لأنها مرتبطة ارتباطاً وثيقاً من وجهيها بالمعدن الأصلي الذي لم يبدأ التشكيل تشكيلاً لدناً بعد فتنشأ حالة من الإجهادات المحورية الثلاثية تسيطر على قرص سبيكة اللحام وهذه الإجهادات تكون محورية (في اتجاه الشد) ونصف قطرية ومماسية (انظر توزيع الإجهادات على العنصر الصغير المكبر المنزوع للتوضيح من قرص سبيكة اللحام) أي أن هذا القرص سيقع تحت إجهادات هيدروستاتيكية Hydrostatic تتساوى في قيمتها فلا تستطيع السبيكة الانفعال لا بزيادة سمكها ولا بنقص قطرها وتزداد الإجهادات بالتحميل حتى يصل الجهد إلى حد الخضوع للمعدن الأصلي للوصلة فيبدأ هو في الانفعال بالاستطالة اللدنة في الطول الحر له بعيداً عن طبقة اللحام ويتجاوز مرحلة التصلد بالتشكيل ويستمر في الانفعال اللدن حتى الكسر الذي يحدث به بعيداً عن منطقة اللحام .

أما نقص الجهد الأقصى للكسر للوصلة إذا نقص سمك الشغرة عن 0,1 مم فإن الاحتمال الأكبر يكمن في أن خشونة السطح المعتادة تؤدي إلى عدم سريان سبيكة اللحام في الشغرة بسبب تلاصق قمع السطح فتقل المساحة الفعالة المرتبطة بسبيكة اللحام . وهكذا تنخفض النسبة المقوية للمساحة الملحومة . وقد أجريت تجارب عملية في هذا الشأن أدت نتائجها إلى إمكان الحصول على وصلات لحام بسبائك لدنة من القصدير والرصاص للصلب فقير الكربون وعند الشد حدث الكسر في الصلب بعيداً عن شغرة اللحام المحشوة بسبيكة الرصاص والقصدير .

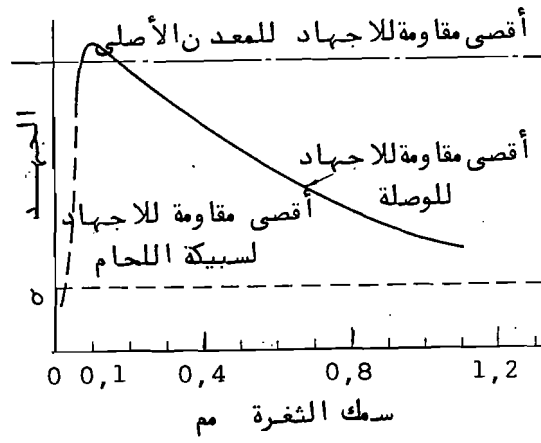
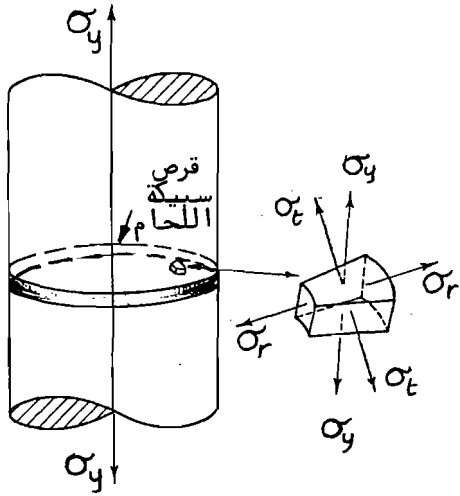


مخطط الاتزان الحراري للقصدير والرصاص

شكل (1-372)



شكل (2-372)



شكل (3-372)

الباب السابع

التكسية السطحية باللحام Surfacing :

يقصد بالتكسية إضافة طبقة أو عدة طبقات من معادن أو مواد إضافية على سطح معدن المشغولة بقصد إكساب الأسطح خواص معينة لا تتوفر في سطح معدن المشغولة الأصلي قبل التكسية أو لتغيير أبعاد المشغولة أو لتعويض ما يكون سطح المشغولة قد فقده بالبرى أثناء العمل . وتمثل التكسية أهمية كبيرة في الدول النامية التي تعاني من صعوبة تعويض قطع الغيار للمعدات العاملة والتي تكون قد بليت بالبرى ويصعب تعويضها إذ يمكن باعلا تأهيل المعدات أو القطع البالية بتكسية الأسطح التي بليت بالبرى - إعادة الاستفادة بهذه المعدات أو القطع لعمر جديد . ويمكن تكرار ذلك لعدة مرات ولهذا الأسباب ولأهميتها في بلادنا ستولى التكسية السطحية شىء من الاهتمام والتفصيل في هذا العمل . أما من ناحية إكساب الأسطح خواص معينة غير متوفرة في أسطح المشغولة فهذه تتمثل في تحسين مقاومة التآكل أو مقاومة البرى أو التحكم في الأبعاد أو للحصول على خواص متالورجية معينة . وعلى هذا الأساس يمكن تصنيف أنواع التكسية إلى ما يلي :

| | |
|--|------------|
| الكلا د | * Cladding |
| * إنتاج سطح مصلد | Hardfacing |
| * زيادة الأبعاد | Buildup |
| * البطانة بسبيكة خاصة لأسباب متالورجية | Buttering |

الكلا د :

يقصد به التكسية بطبقة سميكة نسبيا من معدن أو سبيكة تختلف عن معدن أو سبيكة المشغولة . مثال ذلك تكسية الصلب فقيـر الكربون أو السبائكى الفقير بطبقة من سبيكة مقاومة للتآكل Corrosion لحماية سطح المشغولة من عدوان البيئة المأكلة التى يتعرض لها هذا السطح إلا أن هذه الطبقة الكاسية للمشغولة لا تدخل في حساب مقاومة الإجهاد للمشغولة .

ويتم الكلال عادة بطريقة MIG أى القوس المحجب بغاز حامل والكثود معدني أو بطريقة القوس المغمر ويستخدم سلك الكسوة (الحشو) في صورة ملف سلكي أو شريط معدني يخضع لمواصفات خاصة حسب ظروف الاستخدام والبيئة المسيطرة في العمل . ويمكن الرجوع على سبيل المثال إلى المواصفات الأمريكية AWS A5.4 ، 5.6 ، 5.7 ، 5.9 ، 5.11 ولو أن هذه المواصفات لا تعطى بيانات كافية عن خواص مواد التغطية هذه وبالتالي يمكن الرجوع إلى الشركات المصنعة في هذا الشأن .

ويجب أن تقاوم طبقة الكلال مختلف أنواع التآكل إذ أن هذه المقاومة هي التي تحدد عمر عمل الجزء المعني . ومن المهم أن تتم التغطية بشكل تام لهذه الأسطح ولا تترك بقعا أو نقاطا دون التغطية وإلا فسيكون هذه مواقع مهاجمة للبيئة المأكلة المحيطة بالجزء . كما يجب أن يكون سطح الكسوة أملسا لا يحتاج إلى تشغيل لاحق ويحتوي على العناصر الهامة في مقاومة التآكل .

ويمكن استخدام الصلب المقاوم للصدأ أو سبائك النيكل أو الفضة أو سبائك النحاس وأحيانا الرصاص في التغطية ويتم الاختيار في غالب الأحيان بتجربة مقاومة هذه الطبقات الكاسية للبيئة المأكلة . حتى توتى الكسوة ثمارها .

إنتاج سطح مصلد :

يمكن التغطية بطبقة التصليد إما يدويا أو بالوسائل نصيف الأتوماتية أو الأتوماتية بالقوس الكهربائي أو باللحام بالغـاز . وتستخدم مواد التغطية في صورة سيقان عارية أو مكسوة أو في صورة ملفات سلكية أو معجون أو مسحوق معدني إلا أن هذه المواد لم توصف بالكامل بعد لأن وسائل اختبار نتائجها لم توصف بعد ويمكن الرجوع إلى المواصفات الأمريكية AWS أرقام

A 5.13 , A 5.21 فيما تمّ توصيفه . وتحتوى الأخيـرة على توصيف إلكترونيات التـكسية أنبوية الشكل والمصنوعة من كربيد التنجستن ويمكن تقسيم خواص تصلد ومقاومة البرى للكسـوة السطحية كما يلى :

- التصليد - تصليد شامل - تصليد جزئى لبعض الأصناف المكونة للسطح - تصليد مقاوم للحرارة المرتفعة - تصليد مقاوم للزحف تحت الأحمال المعرض لها السطح عند درجات الحرارة المرتفعة .

- مقاومة السحج Abrasion تحت الأحمال المنخفضة أو المرتفعة .

- مقاومة الصدم - مقاومة للصدمات المتكررة - مقاومة للتشرخ تحت الصدمات مع أخذ التصلد بالتشكيل على البارد فى الاعتبار .

- مقاومة فعل درجة الحرارة - مقاومة التطبيع Tempering - الاحتفاظ بمقاومة الإجهادات فى درجات الحرارة المرتفعة - مقاومة التأكسد أو التآكل بالغازات الساخنة - مقاومة الكلال الحرارى Thermal Fatigue .

- مقاومة التآكل .

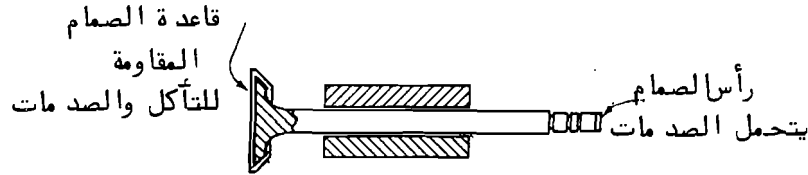
- خواص الاحتكاك - معامل الاحتكاك - تكون أغشية سطحية - التزليقية - التلدن .

ولمّا كان من أهم أهداف التـكسية زيادة عمر التشغيل للأسطح المكسوة إلا أنه يصعب إيجاد علاقة بين خواص المواد الكاسية وعمر التشغيل بسبب تعقد المتغيرات المسببة لبرى الأسطح ولذلك تحكم التجربة الميدانية أساسا مبادئ اختيار المواد الكاسية وعلى أساس الميزات التالية :

- زيادة مقاومة البرى والتآكل فى المواقع التى تتطلب ذلك .
- سهولة استخدام السبائك الصلدة المقاومة للبرى .
- الاستخدام الاقتصادى للسبائك الغالية .
- استخدام طبقة كسوة صلدة تسند ها طبقة متينة تحتها لتحمل الاحمال الواقعة عليها .

ويدخل فى مبادئ الاختيار شكل الجزء المطلوب كسوته وتكاليف المواد الكاسية والعمالة والمعلومات المتجمعة بالخبرة لتجنب حدوث الشروخ أو تشويه المشغولة بسبب الإجهادات الحرارية المتخلفة من عملية التكسية .

فعلى سبيل المثال نجد أن تكسية رأس وقاعدة صمام محرك احتراق داخلى شكل (1 - 376) تحتاج إلى خبرة ومهارة ودققة متناهيتين فى إجراء عملية التكسية بينما قد لا تحتاج معدات حفر التربة إلا لعامل أقل خبرة واستخدام سلك تكسية دون الاهتمام بالدقة التى تتطلبها حالة تكسية الصمام الذى يتعرض لظروف قاسية عديدة ومجموعة مثل الصدمات والتآكل بفعل درجات الحرارة المرتفعة والبرى والطرق كل ذلك فى درجات الحرارة المرتفعة .



شكل (1-376)

التكسية لمقاومة السحج : Abrasion resistance

تُعتبر مقاومة السحج من أهم الخواص المستهدفة في كسوة الأسطح والتي تحتاج إلى اختيار حكيم لأسياخ الكسوة باعتبار المتغيرات المتداخلة التي تؤثر في مقاومة السحج والتي قد يساهم فيها الحرارة ومقاومة التآكل والصدمات والكلال . ويجب أن لا يغيب عن الذهن أن هناك علاقة غير وثيقة بين الصلادة ومقاومة السحج ولذلك لا يجب أن تتخذ الصلادة مقياسا لمقاومة السحج بل تقيم المتغيرات المختلفة المؤثرة في مقاومة السحج مثل نوع المادة الساحجة المؤثرة (صلادتها ، حدة حوافها ، قنانتها) ومقدار الصدمات المعرض لها السطح ومساندة السطح التحتى للكسوة ومقدار ونوع الإجهادات الواقعة على السطح (شد - ضغط - قص) ودرجة الحرارة أو أى ظروف أخرى ذات تأثير ملحوظ .

إلا أن الصلادة تعتبر من جانب آخر من الخواص اللازمة لمقاومة التحات erosion ولذلك يعتبر كربيد التنجستن والحديد الغنى بالكروم وحديد الزهر المرتنسييتى من المواد الفائقة في مقاومتها لهذا النوع من البرى . وعلاوة على ذلك هناك أمثلة واضحة لسبائك تجليخ ساحجة تكون لدنة نسبيا Soft إلا أنها متينة Tough وتتولى برى مواد أصلد منها . أى أن خاصية المتانة تلعب دورا أساسيا في اختيار مواد التكسية وعلى هذا الأساس يفضل الصلب المنجنيزى الأستينيتى لتعويض المساحات البالية (بالبرى) في المشغولات .

مقاوم الصدم Hardfacing for Impact

يمكن تصنيف الصدم بثلاث درجات من العنف - خفيف عند ما تظل الطاقة الممتصة في حدود المرونة ، ومتوسط عند ما تشتمل الطاقة الممتصة نطاقى المرونة واللدونة وعنيف عند ما يتشكل السطح تشكيلا لدنا أو ينكسر . ويمكن على ضوء هذا التصنيف اختيار مواد

التكسية بالترتيب التالى على سبيل المثال: حديد زهر مرتنسيى - صلب مرتنسيى - صلب أستنيى . ومن المعروف أن متانة حديد الزهر الأستنيى تقع بين متانة حديد الزهر المرتنسيى والصلب المرتنسيى (مثال ذلك الأنواع المحتوية على % 15 كروم) . فأنواع الحديد الأستنيى تفتقر إلى مقاومة الضغط المرتفعة التى تتصف بها أنواع الحديد المرتنسيى فهى لذلك لا تناسب الصدات الخفيفة ولو أنها تكون مقاومة للتشرخ الحرارى والصدات المتوسطة .

زيادة الأبعاد Buildup :

يقصد بزيادة الأبعاد تغيير سمك أو شكل جزء فى مشغولة باللحام وتكون الأضافة باللحام لتغيير الشخانة أو الشكل مساوية فى غالب الأحيان فى تركيبها للمعدن الأصلية .

البطانة بسبيكة خاصة لأسباب متالورجية Buttering :

إنَّ الغرض الرئيسى من هذا النوع من التكسية هو الوفاء ببعض المتطلبات المتالورجية وتستخدم هذه التكسية أساسا لإتاحة الفرصة للحام سطحين غير متشابهين بعضهما ببعض ولحام الصلب الكربونى للصلب السبائكى الفقير لإمكان تجنب تخفيف الإجهادات فى اللحام المنتهى .

وبطانة التكسية تتم على سطح أحد جزئى المشغولة أو على كليهما قبل إجراء اللحام الذى يربط الجزئين بعضهما ببعض . وفى بطانة سطح جزء واحد يكون فى حالة لحام معدنيين غير متشابهين لتجنب أو تقليل تسابك بعض عناصر مادة البطانة فى المعدن الأصلية للجزء الثانى من المشغولة . أما فى حالة بطانة الجزئين فتكون فى الغالب للمواءمة بين معاملي التمدد

الحرارى لجزئى المشغولة ولمقاومة التغير الدورى لدرجات الحرارة أثناء استخدام المشغولة .

وتعمل البطانة من جانب آخر على عزل ومنع انتشار أى عناصر غير مرغوب فيها من المعدن الأصلي إلى طبقة اللحام . كما تفيد من ناحية أخرى فى حل مشكلة بعض المواد التى تضر بالمعالجة الحرارية عند درجات الحرارة المرتفعة والتى تتم عادة بعدد اللحام . فيبطن الجزء الحساس لهذه المعالجة بمعدن غير حساس لها ثم يُلحم مع الجزء الآخر بدون معالجة . ويُعالج حرارياً الجزء المبطن عادة قبيل عمل اللحام النهائى مثال ذلك منفث مصنوع من الصلب السبائكى الفقىر المكسو بالصلب المقاوم للصدأ ويبطن هذا الجزء بسبيكة صلب كرومى نيكلى قبل اللحام مع أنبوب التوصيل للمنث والمصنوع من الصلب المقاوم للصدأ ويستخدم سلك حشو من الصلب النيكلى الكرومى .

ويمكن أن يُستخدم للتبطين أى من عمليات اللحام المعروفة والتى تعطى بطانة سليمة لها التركيب الكيمائى والخواص الميكانيكية المطلوبين .

التغيرات الأساسية للتكسية :

إن هناك بعض التغيرات الأساسية التى يجب أخذها فى الاعتبار فى التكسية بينما لا تمثل هذه أية أهمية فى حالة اللحام المعتاد لوصول الأجزاء وهذه التغيرات هى :

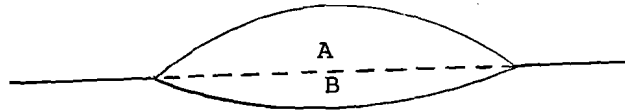
- تغير التركيب الكيمائى والخواص الميكانيكية للمادة الكاسية عن المادة المكسوة .

- تغطى الكسوة عادة مساحة كبيرة نسبياً من المشغولة .

- الحاجة إلى أقل كمية من مادة الكسوة باللحام (ثخانة الكسوة) لذلك فهى تعطى انحداراً حاداً يُلاحظ فى

تغير نسبة الكربون وعناصر التسابك والخواص الميكانيكية عبر خط الانفصال بين المعدن الأصلي ومعدن الكسوة . ولما كان تركيب الحشو المستخدم في الكسوة يختار بتركيب مختلف عن المعدن الأصلي ويتم انصهار طبقة من المعدن الأصلي وامتزاجها مع منصهر معدن الحشو فإن تركيب الأخير سيصيبه تغيير أو تخفيف في تركيز العناصر الفعالة فيفقد الخواص المرجوة منه وأهمها الصلادة ومقاومة البرى وفى هذا الشأن نهتم بما يُطلق عليه النسبة المئوية للتخفيف والتي تعرف بأنها النسبة بين كمية المعدن المنصهر (B) من المعدن الأصلي ومجموع كميتي المعدن المضاف (الحشو) (A) والمعدن الأصلي المنصهر شكل (1 - 380)

$$\frac{B}{B+A} \times 100 = \text{النسبة المئوية للتخفيف}$$



شكل (1-380)

وتمثل هذه النسبة أهمية متالوجية خاصة في تحديد تركيب وخواص الكسوة ولذلك فاختيار مواد الكسوة يتم في غالبه على ضوء هذه النسبة . مثال ذلك تكسية الحديد السبائكي الفقير بالصلب المقاوم للصدأ باستخدام طريقة اللحام بالقوس المعدن المحجوب SMAW إذ تعطى هذه الطريقة نسبة تخفيف تتراوح بين 15 % ، 50 % بعد ترسيب درزتين أو ثلاثة فى طبقة تكسية فإذا استخدم الكترود صلب مقاوم للصدأ نوع E 308 (مواصفات أمريكية) المحتوى على 19 % Cr + 9 % Ni نجد أن الطبقة الأولى المرسبة ستحتوى على 12 % Cr + 6 % Ni فقط ومن ثم فهي لا تحقق المرجو

منها من خواص مقاومة تأكل واجهادات بينما لو استخدم إلكترود أغنى فى الكروم والنيكل مثل E 309 المحتسوى على $25\% \text{ Cr} + 12\% \text{ Ni}$ نجد أن ما يتبقى فى طبقة التأكسدة سيصبح $16\% \text{ Cr} + 8\% \text{ Ni}$ فتنحسّن الخواص المذكورة وإذا وصلت نسبة التخفيف بالقرب من 15% نحصل على تحسن أكثر فى الخواص هذا من ناحية ومن ناحية أخرى يجب أن نعلم أن أنواع الصلب المقاوم للصدأ الأستينيتية تتعرض للتصدع الدقيق microfissuring أو التشرخ الساخن . أما الأنواع المحتوية على مرتنسيت فهى تميل إلى أن تكون طبقة صلبة وقصيفة . ويمكن الحصول عادة على طبقة سليمة لدنة ومقاومة للتأكل من الصلب فقير الكربون تحتوى على نسبة من 3 إلى 15% فرايت بينما التأكسدة بطبقة مقاومة للبرى تكون عادة بصلب مرتفع فى نسبة الكربون ليكون بنية مرتنسيتية ويمكن الرجوع إلى مخطط شيفلر (Schaeffler, Chapter 65 Welding Handbook Sec. 4, 6th ed.) للحصول على تفاصيل لحام أو تأكسدة أنواع الصلب بسلك صلب مقاوم للصدأ .

وبجانب ذلك يمكن أن تسبب مادة طبقة التأكسدة تغيرات طورية فى المعدن الأصلى شأنها فى ذلك شأن التغير الطورى الذى يحدث فى المادة الكاسية فبينما يمكن أن تصلح مادة كاسية معينة للصلب الكربونى وتعطى نتائج طيبة نجد أن العكس قد يحدث ونحصل على نتائج غير مقبولة إذا كانت المعدن المكسو هو الصلب المنجنيزى ($13\% \text{ Mn}$) نظراً لدور المنجنيز فى استقرار الأستينيت وهذه الحالة يمكن معالجتها بالحصول على نسبة منخفضة من التخفيف فيتيح ذلك تكون مرتنسيت صلب مقاوم للبرى .

ولما كانت معظم عمليات التأكسدة تجرى بإلكترودات مستهلكة بلحام القوس الكهربائى ونظراً لأهمية دور نسبة التخفيف فى اختيار هذه الإلكترودات وتقدير مدى صلاحيتها للحصول على كسوة بخواص جيدة فإننا نجد أنه من الضرورى التعرف على كل

متغير من متغيرات اللحام بالقوس والإلكترودات المستهلكة ولو أن العديد من هذه المتغيرات المؤثرة على نسبة التخفيف التي يجب أن يتم التحكم فيها بكل دقة أثناء التكبسية نجد أنه يصعب التحكم فيها بالقدر المنشود أثناء اللحام بالقوس الكهربائي ويمكن إلقاء الضوء على هذه المتغيرات بإيجاز كما يلي :

- شدة التيار - زيادة شدة التيار الكهربائي يزيد نسبة التخفيف ويجعل القوس حاداً وأسخن وأكثر تغلغلاً فى المعدن الأصلي ومن ثم صهر قدر أكبر منه .

- القطبية - تؤدى القطبية العكسية إلى تغلغل أقل فى المعدن الأصلي وبالتالي نسبة تخفيف منخفضة عن حالة القطبية المباشرة فى التيار المستمر ومن البديهي أن يقع التيار المتردد بين الحالتين المذكورتين فى تأثيره .

- حجم الإلكترود - كلما قلَّ حجم الإلكترود ومن ثم قلت شدة التيار قلت نسبة التخفيف . وعند ثبات شدة التيار عند قيمة معينة فإن زيادة قطر الإلكترود تعنى نقصاً فى كثافة شدة التيار ومن ثم نقصاً فى نسبة التخفيف .

- تباعد خطوط (درزات) اللحام - كلما اقتربت درزات اللحام بعضهما من بعض (زيادة تراكبهما) انخفضت نسبة التخفيف بسبب إعادة صهر جزء من الدرزات السابق ترسيبها .

- تذبذب الإلكترود - كلما ازدادت سرعة تذبذب حركته الإلكترود كلما انخفضت نسبة التخفيف . وتصل نسبة التخفيف إلى حدها الأقصى عند ما تنعدم الحركة البندولية للإلكترود . كما أن زيادة التردد تؤدى إلى خفض نسبة التخفيف .

- سرعة التقدم - يؤدي ببطء سرعة التقدم إلى نقص المنصهر من المعدن الأصلي وزيادة المنصهر من سلك الحشو (التكسية) ونقص نسبة التخفيف والتي تتأثر بدورها بتغيير شكل الد رزة وسمكها وبحقيقة أن قوة القوس تستنفذ في بركة اللحام أكثر منها في المعدن الأصلي .

- وضع اللحام وزاوية ميل المشغولة - يؤثر وضع اللحام على نسبة التخفيف تأثراً هاماً من ناحية تأثير الجاذبية الأرضية على حركة بركة اللحام يسبق من القوس أو البقاء تحته أو التخلف عنه ، فكلما ظلت البركة تحت القوس أو سابقة له كلما قل التغلغل في المعدن الأصلي وقلت نسبة التخفيف . أي أن البركة تعمل كوسادة تمتص طاقة القوس قبل تغلغله في المعدن ولو سبقت البركة القوس بمسافة كبيرة أو كانت البركة سميكة فلن ينصهر قدر كاف من سطح المعدن الأصلي وبالتالي لن يتم التحام ويمكن ترتيب أوضاع اللحام حسب تأثيرها على خفض نسبة التخفيف كما يلي :

رأسى صعوداً - أفقى على مستوى رأسى - صعود مرتفع - أفقى مسطح - هبوط منخفض .

ومن البديهي أنه يمكن التحول من هبوط منخفض إلى صعود مرتفع بتغيير وضع القوس بالنسبة لخط محور المشغولات الأسطوانية المطلوب تكسيته سواء من الداخل أو من الخارج .

- حماية القوس - يلعب وسيط حجب القوس بالغاز أو بمساعد الصهر دوراً مؤثراً في نسبة التخفيف إذ أنها تؤثر في السيولة والشد السطحي لبركة اللحام والتي تحدد مدى اتساع بركة اللحام وامتدادها على جانبي د رزة اللحام ويمكن ترتيب هذه الأوساط الحاجبة للقوس حسب تأثيرها في تخفيض نسبة التخفيف كما يلي :

الهليوم - ثاني أكسيد الكربون - الأرجون - مجروش مساعد الصهر

بدون إضافة سبائك - مجروش مساعد الصهر بإضافة سبائك .

- مادة الحشو المساعدة - يستخدم أحيانا معدن إضافي كمادة حشو في صورة مسحوق أو سلك أو شريط أو مع مساعد الصهر علاوة على ما يضيفه إلكترود اللحام من معدن لسطح التغطية وهذا المعدن الإضافي يؤدي إلى إقلال نسبة التخفيف من خلال زيادة كمية المعدن المضافة المنصهرة وتقليل مقدار المنصهر من المعدن الأصلي ، إذ يستهلك قدر كبير من طاقة القوس في صهر المعدن المضاف .

- تأثير عناصر التسابك - قد يؤثر بعض التسابك على خواص تشغيل السطح المكسو حتى لو كان وجودها بنسب ضئيلة ، ويكون هذا التأثير إما بإحداث تشرخ أو تقليل مقاومة التآكل أو مقاومة الإجهادات أو المطيلية أو المتانة وذلك في الكسوة السطحية . فزيادة الكربون في الصلب المقاوم للصدأ على سبيل المثال تقلل من مقاومته للتآكل بسبب اتحاد الكربون مع الكروم وهو العنصر الفعّال في مقاومة التآكل . وبهذا المفهوم يجب التحكم في نسب وجود بعض العناصر مثل الرصاص والفسفور في السبائك التي أساسها النيكل .

- المعالجات الحرارية - تحتاج بعض الأجزاء المطلوب تكسيته إلى معالجة حرارية خاصة بعد اتمام عملية التغطية إلا أن هذه المعالجة رغم أنها قد تكون مفيدة من ناحية التلدين بإزالة الإجهادات للمعدن الأصلي المطلوب كسوته إلا أنها في كثير من الأحيان تكون ضارة للكسوة بتقليل مقاومة التآكل أو الإضرار بالخواص الميكانيكية . وبالمثل يمكن أن تؤدي المعالجة الحرارية التي تستهدف الكسوة إلى الإضرار بالمعدن الأصلي المطلوب كسوته . ويحدث هذا الضرر على سبيل المثال في الصلب المقاوم للصدأ بترسيب الكريبات أثناء المعالجة الحرارية أو بتكوين طور سيجما المعروف وكذلك بالرغم من وجود طور الفريت بنسب محدودة في الكسوة بالصلب

الاستنيتى يؤدى إلى نقص السرعة التى يتكون بها الكربيدات الضارة إلا أنه يزيد من سرعة تكون سيجما الذى يؤدى فى غالب الأحيان إلى نقص مقاومة التآكل والمطيلية والصدّات التى تتعرض لها الكسوة .

وفى بعض الأحيان تضر المعاملة الحرارية المعدن الأصلي مع الإضرار بالكسوة كذلك مثل الشروخ التى تحدث تحت الكسوة فى الصلب فقير التسابك عند كسوته بالصلب المقاوم للصدأ باستخدام طاقة حرارية مرتفعة إذ تنشأ منطقة مغلفة الحبيبات عالية الإجهادات فى المنطقة المتأثرة بالحرارة HAZ وعند إجراء المعالجة الحرارية لتخفيف هذه الإجهادات العالية يحدث انفصال للحبيبات عند حدودها . ولذلك يجب اختيار طريقة خاصة للتكسية لا تحتاج إلى طاقة حرارية عالية لتجنب هذه الظاهرة .

كما أن انتشار الكربون من منطقة إلى أخرى بين الكسوة والمعدن الأصلي قد يحدث بالانتشار بسبب طول المعالجة الحرارية أو بسبب ارتفاع درجة الحرارة أثناء التشغيل ويؤثر على الخواص الموجودة أو المكتسبة بعد التكسية وخاصة فى العناصر الموجودة تسابكاً مثل الكروم والموليبدنم وحتى الحديد نفسه .

- مظهر السطح الخارجى - فى كثير من الأحيان يكون سطح الكسوة خشناً لا يصلح للاستخدام ويحتاج إلى تشغيلة بالتجليخ الأمر الذى قد يستحيل تنفيذه أو لا يكون ذلك اقتصادياً لذلك يختار سلك الكسوة ليوفى بمتطلبات جودة السطح المطلوبة بجانب الخواص الأخرى وبحيث تنشأ كسوة مستوية ناعمة لا تحتاج إلى تشغيل لاحق ويمكن استخدام السطح بعد الكسوة مباشرة .

طرق التكسية :

يمكن إتمام التكسية السطحية بعدة طرق فمنها اللحام بالصهر واللحام بالسبائك الصهيرة الصلدة أو اللدنة (المونة) أو الرش الحرارى . ولذلك توجد معادنُ سالك الكسوة فى صور مختلفة تغطى هذه الطرق . إلا أن معظم هذه الطرق يعتمد على لحام الصهر حيث ينصهر سالك الحشو وسطح الجزء المطلوب كسوته ويمتزج المنصهران ويتجمدا معا وينتج الربط بين الكسوة والجزء المكسوربطا متالورجيا . ويمكن لتحقيق هذا الربط بنجاح منع الأكسدة أثناء هذا الصهر باستخدام مساعدات الصهر أو الغازات الواقية بحشو سالك التكسية بمادة مختزلة للأكاسيد .

ويمكن استخدام المصدر الحرارى للتكسية من احتراق وقود مع الأكسجين أو من قوس كهربائى ويعتبر المصدر الأول أقل حدة وتركيزا عن المصدر الثانى الذى هو أكثر انتشاراً فى الصناعة ويتم المفاضلة بين الطريقتين على ضوء عدة عوامل منها مهارة العامل وتوزيع الحرارة والتكاليف وسرعة الانجاز والإجهادات الحرارية المتخلقة واحتمال التشرخ .

أشكال مواد الكسوة :

تكون مادة الكسوة فى شكل أسلاك أو أسياخ أو أنابيب محشوة أو أشربة (خوص) أو مجروش أو مسحوق . أما مساعدات الصهر فقد تَكُسى بها الأسياخ (الإلكترودات) أو تُحشى بها الأنابيب المستخدمة كإلكترودات ، وهى تكون فى شكل مجروش أو مؤلف (خليط) مع مسحوق مادة اللحام ذاتها مثل كربيد التنجستن .

التكسية باستخدام القوس الكهربائى :

بينما يُعْتَبَرُ لهب الأكسى أستلين وسيلة مُفضَّلة لتكسية المشغولات الصغيرة والتكسيات الدقيقة نجد أن القوس الكهربائى على الجانب

الآخر يعطى معدلا عاليا لترسيب كميات مواد التغطية للأسطح الكبيرة وبطريقة اقتصادية وبأقل تشويه ممكن للمشغولات . وهناك فى هذا السبيل القوس الكهربائى اليدوى ونصف الأتوماتى والأتوماتى . وتقدم التغطية بالقوس نصف الأتوماتى أفضلية اقتصادية على القوس اليدوى بسبب استمرار العملية دون انقطاع وإهدار الوقت والمواد ولذلك فهى تستخدم فى المشغولات المتعددة كما أن المعدات اللازمة لها أقل الطريقة الأتوماتية .

وتتميز التغطية باستخدام القوس الكهربائى اليدوى بانخفاض تكاليف المعدات اللازمة لها ولذلك فهى الأكثر شيوعا وخاصة إذا استخدم الغاز الحاجب لوقاية القوس واللحام . ويستخدم كل من التيارين المتردد والمستمر بقطبتيه والإلكترودات المكسوة ولا تستخدم العارية إلا فى حالة التغطية بالإلكترودات الصلب المنجنيزى الأستينيتى وتتم الكسوة فى كل أوضاع اللحام المعروفة . إلا أنها تحتاج إلى عامل متمرس ليستطيع أن يغطى المساحات غير المنتظمة وللتحكم يدويا فى تغيرات العملية لتقليل ظاهرة التشرخ وخفض مفايد سلك الكسوة وخفض نسبة التخفيف مع المشغولة المكسوة والإقلال من تداخل الرطوبة . وبصفة عامة لا تختلف ظروف تغيرات اللحام فى التغطية عن تلك اللحام المعتاد بالقوس اليدوى، فالقوس وبركة اللحام يحميهما إما الخبث الطافى فوق البركة أو الغاز الواقى أو بهما معا . ولذلك فإن كسوة الإلكترودات يكون لها تأثيرا على خواص طبقة الكسوة . ويتراوح معدل الترسيب فى هذه الطريقة بين نصف كيلو و كيلو جرامين فى الساعة بنسبة تخفيف تتراوح بين 30 % ، 50 % .

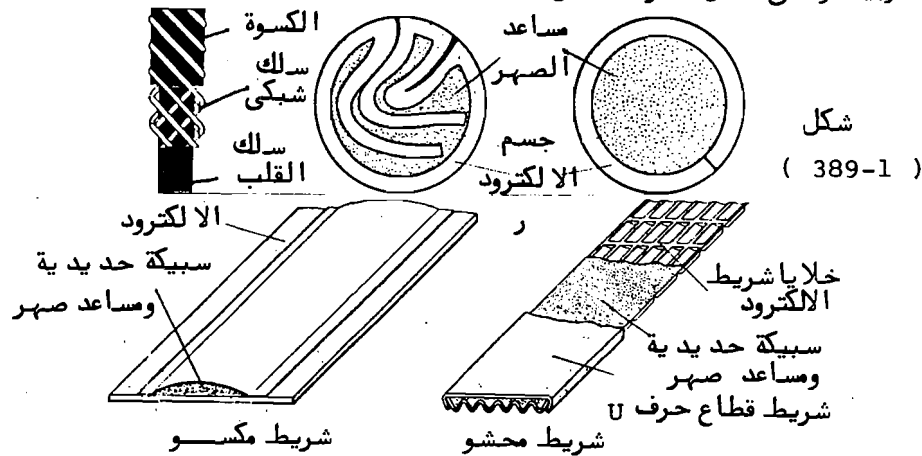
ويمكن استخدام طريقة القوس الكهربائى بالإلكترود التنجستن وغاز الأرجون أو الهليوم للوقاية فى عملية التغطية شأنه فى ذلك شأن القوس المكشوف اليدوى المعتاد . ويظل الإلكترود فى هذه الحالة دون استهلاك . وتتم التغطية بسلك أوساخ حشو إضافى للتغطية يغمر فى القوس ولا يستخدم مساعد لحام اعتمادا على الوقاية بالغاز . وتتميز هذه الطريقة بجودة طبقة الكسوة الناتجة

وهى تناظر فى خواصها طريقة التغطية بلهب الأكسى أستليين وتتفوق عليها من وجهة نظر تجنب الكربنة التى تحدث باللهب وقد تتم التغطية بمادة على هيئة مجروش أو مسحوق من كربيد التنجستن بدلا من أسياخ التى يصعب صنعها من هذه المادة وتغطى التغطية بهذه الطريقة معادن عديدة للتغطية منها الصلب السبائكى الغنى وسبائك النيكل والكروم والنحاس وسبائك الكوبلت وسبائك وتكون عادة فى صورة أسلاك أو أسياخ وتتصف هذه الطريقة بانخفاض معدل ترسيبها للكسوة وارتفاع جودة الكسوة مع انخفاض نسبة التخفيف ومقدار التشويه فى المشغولة . ويمكن أن تتم التغطية فى جميع الأوضاع مثل اللحام بها .

كما يُستخدَمُ كذلك القوس الكهربائى بالكتروود معدنى فى التغطية التى تشبه الطريقة السابقة فى معالمها الرئيسية فقط يستهلك الإلكترود الذى يكون فى هذه الحالة هو مادة التغطية وعادة ما يتم ذلك بتغذية السلك أوتوماتيا وتكمل العملية باليد (لحام نصف أوتوماتى) وقد يكون السلك مُصمماً أو أنبوبياً وتستخدم غازات الأرجون والهليوم وثانى أكسيد الكربون للوقاية أو بخليط بينها أو مع نسبة ضئيلة من الأكسجين . وقد تُحشى الإلكترودات الأنبوبية بمساعد الصهر . ويُعتبر من أهم استخدامات هذه الطريقة هى: تغطية الصلب الكربونى والسبائكى والمعادن غير الحديدية ومعادن الكسوة من الصلب السبائكى والصلب الكرومى المقاوم للصدأ والنيكل وسبائك النحاس وسبائك والتيتانيوم وسبائك الكوبلت وسبائك . وتتصف الطريقة بارتفاع نسبة التخفيف . ويعتمد نجاح العملية على أسلوب تنفيذها وأهمها حركة الإلكترود (سلك الكسوة) عرضيا لتأثير ذلك على نسبة التخفيف والحركة الموجية تغطى تخفيفا أقل عن الزجاجية . ويؤثر مقدار بروز الإلكترود من فوهة ماسكة على معدل الترسيب والتحكم فى الطاقة المستهلكة فى القوس وتبخر بعض العناصر من الإلكترود ويبلغ البروز الأمثل من ثمانية أمثال إلى واحد وخمسين مثل الإلكترود . كما أن اختيار القطر المناسب للإلكترود يلعب دورا هاما فى تركيز كثافة التيار

عليه ومن ثمَّ نسبة التخفيف والكثافة المرتفعة تؤدي إلى زيادة نسبة التخفيف .

وفي اللحام نصف الأتوماتي تستخدم في غالب الأحيان إلكترودات عارية والتي يتعرض فيها القوس وبركة المنصهر للهواء الجوي ما لم يستخدم غاز حجب للوقاية وفي بعض الأحيان تحتوي هذه الإلكترودات (أسلاك التغطية) على مادة مختزلة للأكاسيد وفي أحيان أخرى تستخدم إلكترودات أنبوبية مع قوس مكشوف مع تيار مستمر قطبية عكسية الأمر الذي يتيح رؤية وتحكم جيدين لبركة اللحام وتغلغل وتخفيف ضئيلين بجانب أقل تشويه للمشغولة مقارنة بالقوس المغمور . وتتميز هذه الطريقة علاوة على ما سبق بسهولة نقل معداتها إلى موقع المشغولات المطلوب تغطيتها والتي يصعب نقلها إلى المعدّة . أما التغطية بوحدات أوماتية فتتميز بالاستغناء عن التحكم البشري في متغيراته وإحلال التحكم الأوماتي محلها مثل موقع القوس ومعدل تغذية سلك التغطية لضبط طول القوس وسرعة التقدم في التغطية ومن ثمَّ الحصول على سطح مكسو جيد وخالي من التجعدات . . . وبعض وحدات التغطية الأوماتية تستخدم الوقاية بالغاز الحجب وبعضها يستخدم طريقة القوس المغمور التي تستخدم إلكترودات أنبوبية أو على شكل أسرطة شكل (1-389)



التكسية السطحية بالإلكترودات المحشوة:

تعتبر هذه الطريقة من التكسية تعدىلا لطريقة التكسية بالقوس الكهربائى والإلكترود المعدنى (سلك التكسية) مـ مع غاز واق فلا يختلف سلك التكسية فى تركيبه فى كلا الطريقتين . وتوجد الإلكترودات المحشوة فى تصنيفات عديدة شأنها فى ذلك شأن كافة السبائك وبعضها لا يمكن تشكيله إلى أسلاك بل فى سيقان . وقد يحتوى حشو الإلكترود على مسحوق لسبائك معينة لزيادة معدل الترسيب ولتعدىل بعض الخواص . وقد يستخـدم أو لا يستخـدم غاز واق إضافى (علاوة على حشو الإلكترود) مثل غاز ثانى أكسيد الكربون وحده أو بخليط منه مع غازات أخرى مثل الأرجون ، ويتيح غاز ثانى أكسيد الكربون انتقال المعدن عبر القوس فى صورة كتل كروية وليس على هيئة رذاذ . وتتصف هذه الطريقة بظاهرتين أولهما: إنتاج خبث متخلف عن التفاعلات بين مساعد الصهر وبركة المنصهر وهذا الخبث يجب إزالته قبل ترسيب طبقة ثانية من التكسية . وثانيهما: أنه يصعب تحريك هذه الإلكترودات لتكسية الأركان الحادة ذات أنصاف الأقطار الصغيرة على عكس الإلكترودات المصممة غير المحشوة . إلا أنه يمكن التحكم فى تركيبها بدقة عالية وبسهولة تامة عن الإلكترودات غير المحشوة ومن ثم التحكم فى تركيب وخواص الكسوة .

التكسية السطحية بالقوس المغمور:

تشبه هذه الطريقة اللحام بالقوس المغمور وتأخذ الإلكترودات هيئة ملفات أسلاك مصممة أو أنبوبية أو أشطرة مصممة ويغمر القوس بمجروش مساعد الصهر . ويغزى انتشار هذه الطريقة بصفة خاصة فى عمليات التكسية إلى زيادة كثافة التيار ومعدلات الترسيب بها وإمكان استخدام التيارين المتردد والمستمر والحصول على طبقة تكسية جيدة وانعدام التناثر (الطرشة) واختفاء الأشعة

فوق البنفسجية الصادرة عادة من القوس . إلا أنه بسبب كبر عمق تغلغل القوس وانصهار قدر كبير من سطح المعدن المطلوب كسوته فإن نسبة التخفيف ستزيد، ويحتاج الأمر لخفضها إلى التغطية بعدد طبقات حتى يمكن التوصل إلى خواص الكسوة المرجوة دون أضرار بها بسبب تبادل عناصر التسابك (التخفيف) . وبالرغم من خلوص الكسوة من المسامية أو الجيوب الخبيثة إلا أنه بسبب الانحدار الحراري الشديد الناشئ أثناء التغطية فإن السطح يصبح معرضاً للتشقق ما لم تستخدم طريقة التسخين المُسبق واللاحق للمشغولات للإقلال من هذا الانحدار ومن ثمَّ الإجهادات الحرارية المتخلفة مثال ذلك حالة أنواع الصلب الكرومي المرتفع في نسبة الكربون التي تتشقق مشغولاتها الكبيرة عادة من إجراء هذا التسخين الحاد .

وتُستخدَمُ هذه الطريقة لتغطية المشغولات من أنواع الصلب الكربوني والسبائكى الفقير والمقاوم للصدأ وحديد الزهر والنيكل وسبائكها والتي يتراوح سمكها بين 12 mm ، 500 mm . أما مواد التغطية فتكون من الإلكترودات المستهلكة عارية ومؤلفة (Composite) وسلك الحشوعار أو مؤلف أو مسحوق هذا بالإضافة إلى مساعد الصهر الذى يغمر القوس . وتختار مواد الإلكترودات بحيث توفى بمتطلبات السطح من خواص وهى تكون عادة من الصلب السبائكى الغنى والصلب الأستينيتى المقاوم للصدأ والسبائك التى أساسها النيكل أو التى أساسها النحاس الكوبلت أما مساعد الصهر فهو نفسه الذى يستخدم فى اللحام بالقوس المغمور وكذلك نفس المعدات .

ويمكن إيجاز قيم متغيرات التغطية بهذه الطريقة فى أنه يمكن الترسيب بمعدل يبلغ نحو ستة كيلو جرامات / ساعة بنسبة تخفيف تتراوح بين 15 ، 50 % عند استخدام شدة تيار 350 أمبير ويمكن زيادة مقدار الترسيب إلى نحو إثني عشر كيلو جراماً فى الساعة باستخدام الحركة البندولية للإلكترود والتي باستخدامها بتردد وسعات معينة مع استخدام أقطار صغيرة للإلكترودات وتيار مستمر قطبية مباشرة يمكن خفض نسبة

التخفيف إلى 20 % وبتساع الدرزه (الطبقة) إلى 25 mm كما يمكن التوصل إلى هذه النتيجة كذلك باستخدام الكترودات مزدوجة (سالكية) أو بإضافة مجروش أو مسحوق معدن التأكسدة لمساعد الصهر وكذلك باستخدام الإلكتروودات الشريطية التي تعطى معدل ترسيب يتراوح بين 27 ، 45 كيلوجراما / ساعة مع الحصول على طبقة تأكسدة رقيقة ونسبة تخفيف 15 % وتتراوح أبعاد ومقاطع الشرائط بين 50 ، 200 مليمترا عرضا وبين 1 ، 1,5 mm ، مع شدة تيار بين 1200 ، 1500 A وجهد 32 V وسرعة تقدم للتأكسدة 6,5 ملليمتر فى الثانية لإعطاء سمك تأكسدة يبلغ نحو 5 ملليمترات .

التأكسدة بقوس البلازما :

يتميز قوس البلازما الذى سبق شرحه فى عمليات اللحام بالارتفاع الشديد لدرجة حرارته قياسا بدرجة حرارة القوس الكهربائى المعتاد إذ تتراوح درجة الحرارة بين 5500 ، 22000 °م بينما هى فى القوس الكهربائى المعتاد لا تكاد تتجاوز 3000 °م إلا بقليل ولذلك فإن قوس البلازما يُعْتَبَرُ وسيلة جيدة للتأكسدة خاصة بالمواد صعبة الانصهار مثل مركبات التنجستن والمواد الحرارية التى يتولى ليس فقط صهرها بل تبخرها . ويمكن حصر ميزات التأكسدة الأخرى كما يلى :

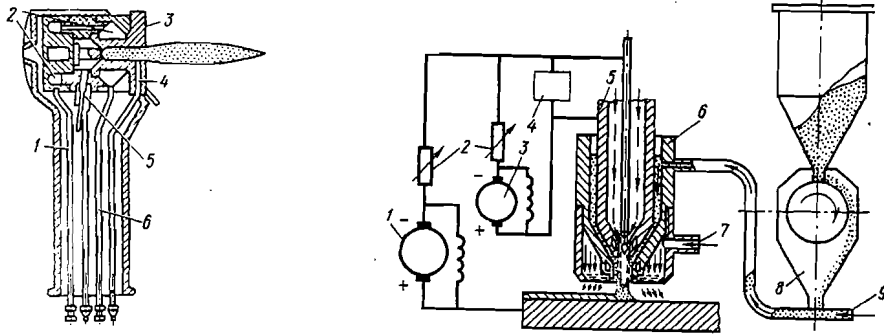
- التأكسدة بالمواد صعبة الانصهار بسبب ارتفاع درجة الحرارة .
- امكان التأكسدة بطبقات من مواد مختلفة التركيب ومن ثم الحصول على خواص متعددة للكسوة السطحية .
- التأكسدة بهذه الطريقة غير محدودة بشكل أو حجم المشغولات كبرتها أو صغيرتها .
- إنه بالتحكم فى البعد بين فوهة قوس البلازما وسطح المشغولة يمكن التحكم فى درجة حرارة سطح المشغولة إما بتسخينه

وصهر طبقة يمكن التحكم فيها ومن ثمَّ التحكم في نسبة التخفيف وبالتالي الاحتفاظ بخواص الكسوة المستهدفة .

وتشبه طريقة التغطية بقوس البلازما طريقة الرش بالمعادن بـلهب الأكسي أستلين في معالها الرئيسية ويقع الاختلاف الأساسي في اختلاف مصدر الحرارة . ويمكن في كلا الطريقتين استخدام مادة الكسوة على هيئة أسلاك (ملفات مستمرة) أو سيقان أو أسياخ أو قضبان أو مجروش أو مسحوق . ويغلب استخدام المسحوق في التغطية بالبلازما بسبب إمكان الاستفادة بخليط من مساحيق مواد مختلفة لا يسهل تسابكها أو التي يصعب صبها وسحبها إلى أسياخ أو أسلاك هذا بجانب نقل المسحوق بواسطة غاز حامل إضافي ودفعه في منفث قوس البلازما الساخن المنفذ فينصهر فوراً ويندفع في صورة رزاز إلى سطح المشغولة .

آلية التغطية بقوس البلازما :

يوضح شكل (1 - 394) المعدة الخاصة بالرش بقوس البلازما باستخدام مسحوق مادة التغطية مع توليد قوسين الأول بين الكترود التنجستن (لا يستهلك) وبين فوهة المنفث (5) الذي يندفع بينهما غاز قوس البلازما ، والقوس الثاني بين الكترود التنجستن وبين المشغولة وهو يتولى تسخين سطح المشغولة وصهره طبقة رقيقة منه بجانب إكمال صهر مسحوق المادة المنذرة خلاله . ويمكن من خلال استخدام هذين القوسين التحكم في الطبقة المنصهرة من سطح المشغولة بحيث تظل في الحدود الدنيا بقدر الإمكان وتساهم هذه الطبقة المنصهرة الرقيقة جداً من المشغولة في الالتحام مع مصهور طبقة التغطية المنفثة في شكل رزاز من قوس البلازما فتظل نسبة التخفيف في حدود صغيرة . ويمكن في حالات أخرى استخدام قوس بلازما وحيد يتولى صهر مسحوق مادة التغطية ودفعه نحو سطح المشغولة الذي يسخن فقط بـلهب قوس البلازما (بالتحكم في البعد بين اللهب وسطح المشغولة) دون أن ينصهر



- 1 - مصدر التيار 2 - مقاومة 3 - ماء تبريد 4 - فرفة التبريد
 5 - مصدر التيار غير المباشر 6 - مذذب 7 - الكاثود 8 - منفث
 9 - منفث غاز البلازما 10 - جسم البورى 11 - قناة تغذية المسحوق 12 - قناة مرور الغاز
 13 - مدخل غاز الوقاية 14 - تغذية المسحوق 15 - مخرج ماء التبريد
 16 - أنبوبة الغاز الحامل للمسحوق

شكل (1 - 394)

، فيصطدم معه وتتحول طاقة حركته إلى حرارة تساعد على الالتحام ويملاً المنخفضات فى السطح وينشأ سطح مستو أملس ويعتمد الارتباط فى هذه الحالة بين سطح المشغولة والرزاز المنصهر المرشوش المندفع إليها على الالتحام بالضغط على السطح الساخن من رزاز المنصهر المرشوش .

وفى كل الأحوال يتولى الغاز الحامل سواء المستخدم فى قوس البلازما أو فى حمل مسحوق المادة الكاسية إلى جسم القوس يتولى حماية القوس ومصهور المسحوق وسطح المشغولة من التأكسد .

وكما أسلفنا تتيح طريقة التكسية بقوس البلازما ظروفًا طيبة للتكسية بمواد صعبة الانصهار أو المقاومة للحرارة والمقاومة للبرى التى تجهز فى صورة مسحوق سبائك النيكل والكوبلت وترش للحصول على تكسية منتظمة وملساء وخالية من المسام ولا يحتاج السطح إلى إعادة تشغيله نظراً لدرجة وجودته . كما تستخدم مواد تكسية عالية فى درجة حرارة انصهارها مثل التنجستن والموليبد ينم والتنتاليوم وغيرها وكذلك أكاسيد المعادن مثل أكسيد الألومنيوم وأكسيد المغنسيوم وأكسيد الزركونيوم والسليكات مثل سليكات الموليبد ينم

والكربيدات مثل كربيد البورن وكربيد السليكون والبوريدات مثل بوريد الزنك وبوريد الهفنيوم أى المواد غير المعدنية المرتفعة فى درجة حرارة انصهارها .

وتجهز مساحيق هذه المواد فى حجم حبيبات يتراوح بين 40 ، 70 ميكرومتر .

وكما هو معروف فى توليد قوس البلازما يستخدم غاز الأرجون والهيدروجين والنتروجين ويعتبر غاز الأرجون هو الغاز المفضل من هذه الغازات لتكوين قوس البلازما ونقل المسحوق ووقاية الترسبة من الأكسدة وأثناء إنجازها .

ويعتمد تسخين مسحوق الترسبة على زمن التسخين أى على المسافة التى يقطعها بين خروجه من القوس (فوهة المنفذ) والوصول لسطح المشغولة وعلى طاقة قوس البلازما المتولد والتى يمكن زيادتها باستخدام غازات ذات إنتالبي عالية مثل النتروجين N_2 والهيدروجين H_2 . ولما كان الهيدروجين موصلاً جيداً للحرارة فإن منطقة التسخين به فى القوس تكون كبيرة نسبياً ومن ثم تتاح الفرصة لزيادة درجة الحرارة بزيادة المسافة بين فوهة منفث البلازما وسطح المشغولة والتى تتراوح فى المعتاد بين 4 ، 20 ملليمتراً فى هذه الحالة .

ولإطالة عمر منفث قوس البلازما يتم تحريك بقعة المصعد على طول السطح الداخلى للمنفت بواسطة إيجاد حركة دوامية للغاز المستخدم (بدخوله محيطياً) أو باستخدام مجال مغناطيسى مولد من ملف به تيار مستمر ومثبت على المنفت .

أما شدة التيار المستخدمة فهى لا تتجاوز 400 أمبير فى غالب الأحوال ويتراوح الجهد بين 60 ، 100 فولت أى أن القدرة لن تتجاوز 40 كيلووات . وتبلغ كفاءة الترسبة مقدراً يتراوح بين 2 ، 3 كيلو جراما / ساعة .

ويجب أن لا يغيب عن الذهن أن جودة التغطية فى هذه الطريقة وكذلك التغطية بالطرق الأخرى ستعتمد فى عمر صمودها ضد التقشر أو التشرخ على اختيار مادة الكسوة بحيث يقترب معامل تمدد ها الحرارى مع معامل التمدد الحرارى لمادة المشغولة حتى لا تنشأ إجهادات حرارية تؤدى إلى التقشر أو التشرخ . كما تعتمد على تجهيز سطح المشغولة بالتنظيف بإزالة الشحوم والرجم بالرمال والتجفيف وأخيرا تعتمد على اختيار متغيرات عملية التغطية السابق التنويه عنها .

التغطية باستخدام اللحام باللهب الأكسى أستلين :

يمكن أن يستخدم لهب الأكسى أستلين يدويا أو نصف أوتوماتيا فى التغطية السطحية باستخدام أسياخ أو قضبان أو مسحوق مادة التغطية . ويكفى لهب الأكسى أستلين إذا استخدم بحكمة لصهر معظم المواد المستخدمة فى التغطية وينشأ سطح مكسو دقيق المعالم ناعم جيد الخواص .

وتتميز التغطية اليدوية بالأسياخ بانخفاض نسبة التخفيف إذ أن سطح المشغولة الذى يكون عادة من الصلب فقيق أو متوسط الكربون لا ينصهر منه إلى طبقة متناهية الرقة ، فبانضباط وضع اللهب بالنسبة للسطح والتحكم فى نسبة الأكسجين مع الأستلين بحيث يصبح اللهب مُحْتَرَلًا ومُكْرَبًا نجد أن طبقة رقيقة من سطح المشغولة تتكربن فتتخفف درجة انصهارها ومن ثَمَّ ينحصر الانصهار السطحي عندها فقط (عَرَق السطح) فتتخفف نسبة التخفيف وهذا أمر هام جدا فى حالة التغطية بسبائك الكوبلت الذى يضرها تسابك الحديد معها . وعلى نفس النمط يمكن التغطية بمواد صلبة كالأسياخ المحتوية على كربيد التنجستن ورغم صلادة هذه المواد وقصافتها إلا أن انخفاض معدل التسخين والتبريد باللهب الأكسى أستلين مقارنة بوسائل التسخين الأخرى يقلل من احتمال تعرُّض السطح للتشرخ .

ويجب أن يكون سطح المشغولة نظيفا تماما قبل إجراء عملية التغطية التى تعتمد فى هذه الحالة على انصهار طبقة رقيقة من المشغولة ثم إبلال السطح بمنصهر سيخ التغطية فيتم البلل الذى يعتمد على نظافة السطح والشد السطحى بين العناصر البالة والمبلولة . ونادرا ما يستخدم مساعد صهر فى التغطية بلحام الأكسى أستلين إذ أن اللهب ووضعه يضبطان بحيث يتولى اللهب عملية الاختزال .

ويمكن تجهيز السطح قبل التغطية بتخشينه أثناء تشغيله أو تشغيله أخاديد فى المناطق التى يطلب تغطيتها للتحكم فى موقع التغطية ولمنع نهايات التغطية من التقشير .

ولما كانت عملية التغطية بهذه الطريقة تحتاج إلى تسخين لطرف سيخ التغطية فإنه يُوضَع فى مركز اللهب (أعلى درجة حرارة) لبيل سطح المشغولة وينتشر على سطحها الساخن بشكل منتظم ويخلف سطحاً جيداً بعد التجمد . فبالتالى يجب أن يتقدم طرف السيخ اللهب فيما يسمى باللحام الأمامى . أما إذا استخدم اللحام الخلفى فإن نسبة التخفيف ستزداد . ويستخدم بعض الفنيين طريقة الحركة الموجية أو البندولية لكل من اللهب والسيخ للموازنة بين معدل تسخين السطح ومعدل انصهار سيخ التغطية .

وينتشر استخدام هذه الطريقة فى تغطية صمامات البخار وصمامات محركات الديزل فى السيارات وحلقات جنازير النشر والمحاريث والمعدات الزراعية .

ويمكن من ناحية أخرى استخدام مادة التغطية (فى صورة مسحوق) التى تغذى إلى اللهب بواسطة قانس بوسيلة دفع مناسبة للمسحوق فتدخل ذرات المسحوق فى اللهب وتنصهر وتندفع إلى سطح المشغولة المسخن والمنصهر منه طبقة رقيقة كما أسلفنا ذكره ومن البديهي أن تعطى طريقة المسحوق ميزة

إمكانية التغطية بمواد لا يسهل صناعة أسياخ منها بسبب شدة قساقتها .

وبصفة عامة تُعتبر هذه الطريقة أكثر الطرق اقتصادياً في أدائها لرخص معداتها وعدم الحاجة إلى تمزس طويل للعمال .

التغطية باللحام نصف الأتوماتي بلهب الأكسي أستلين :

يمكن استخدام لهب الأكسي أستلين في التغطية للأسطح المتماثلة والمتكررة بصفة أوماتية . وفي هذه الحالة تجهز وحدة التغطية بمعدة لتغذية سيخ أو مسحوق التغطية مع تحريك اللهب إلى الأمام بصورة آلية.

مواد التغطية السطحية :

تتعدد مواد التغطية السطحية فتشمل نطاقاً واسعاً يبدأ بمواد مشابهة للمشغولات المطلوب كسوتها في حالة تعويض نقص بالبري وتمتد إلى مدى واسع التركيب والخواص . ويتم الاختيار باعتبار الخواص المنشودة في السطح مثل الصلابة والتركيب الكيميائي وظروف التشغيل ومقاومة السحج وغيرها من الخواص العامة والخاصة .

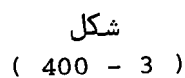
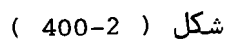
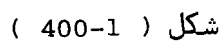
ويمكن تصنيف مواد التغطية في إيجاز بالمبادئ التالية :

- مواد من الصلب الكربوني بنسب تتراوح بين 0,1 ، % 1,5 كربون .
- مواد من الصلب الكربوني فقير التسابك .
- مواد من الصلب الكربوني فقير التسابك مع مواد تشجع

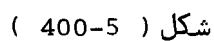
- صلب منجنيزي يحتوى على المنجنيز والسليكون (للاختزال) .
 - صلب السرعات العالية المرتنسييتى الذى يحتوى عـادة على التنجستن والموليبد ينن والفناديوم .
 - صلب برليتى (أكثر متانة من المرتنسييتى) .
 - أنابيب صلب لدن محشوة بمجروش أو مسحوق كربيد التنجستن (المتناهى الصلادة مع متانة جيدة ومقاومة عالية للسحج) تكون نسبة الصلب اللدن إلى كربيد التنجستن هــى
- 2 : 3 .

- سبائك أساسها الكوبلت وتحتوى على 26 الى 33 % كروم ومن 3 الى 14 % تنجستن أما الكربون فمن 0,7 الى 3 % . وتتصف هذه الكسوة بمقاومة الأكسدة والتآكل ومقاومة الحرارة (حتى 980 درجة مئوية)
- سبائك أساسها النيكل تحتوى على كروم من 8 الى 18 % ومورون من 2,5 الى 4,5 ، سليكون وحديد من 1,2 الى 5,5 % لكل منهما أما الكربون فيتراوح بين 0,3 الى 1 % . وتتميز بصلادة ومقاومة سحج عاليتين بسبب تكون كربيدات الكروم وبوريداته .
- سبائك أساسها النحاس لمقاومة التآكل والتحات بالتفريغ (Cavitation) والبرى الميكانيكى وهى غير مغنطيسية وأهم أنواعها البرونز الفسفورى والبرونز الألومنيومى اللدن نسبيا وأنواع النحاس الأصفر (نحاس + زنك) المختلفة .

وتصنع هذه المواد بتركيبات عديدة مختلفة وتحت أسماء تجارية خاصة بكل مصنع إلا أنه يمكن بمعرفة التركيب الأساسي التي تعلنه الشركات المصنعة اختيار مادة التغطية المناسبة للمشغولات حسب ظروف الاستخدام والبيئة المسيطرة .



1- المشغولة 2 مكان الكسوة 3- قالب (والملف الحثي 4-الإلكترودات



التكسية من الداخل

(400-6.)

الاختباراتاختبارات قابلية اللحام Weldability Tests :

تُختَارُ المعادنُ حسب مواصفات خاصة نهتم فيها في المقام الأول بخواصها الميكانيكية والطبيعية ومقاومة التآكل . ولكن إذا ما احتاج الأمر إلى لحام هذه المعادن في مجال تطبيقها فإن خواص قابلية اللحام لهذه المعادن تُعتَبَرُ من الخواص الهامة التي يجب تحديد ها ويقصد بقابلية اللحام هو إمكان انتاج وصلات من المعادن المعنية دون عيوب (شروخ - بخرخة الخ . . .) بجانب الحصول على خواص ميكانيكية للوصلة تكون مقبولة وتقترب من الخواص الميكانيكية للمعدن الأصلي الملحوم .

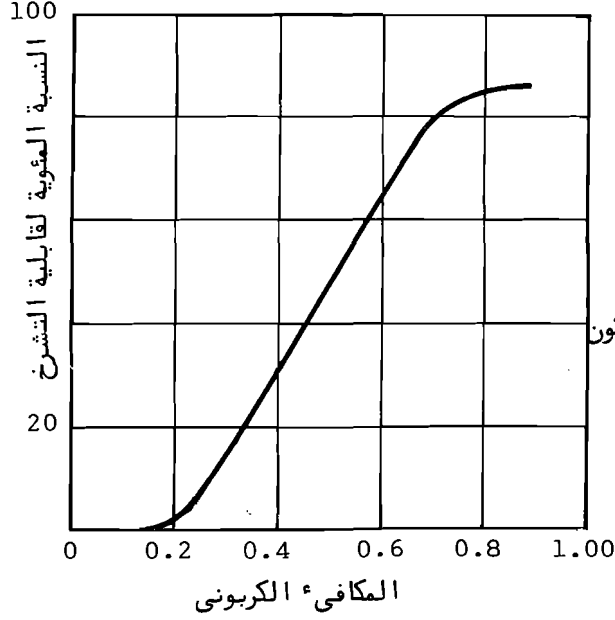
وتختلف قابلية المعادن لعملية وصلها باللحام حسب استعدادها لمقاومة تكون الشروخ والعيوب المختلفة نظرا لما تعانيه الوصلة من جَراء تسخينها في دورة اللحام وما يترتب على ذلك من تكوين مركبات قد تكون قصيفة مثل المرتنسيت أو تحولات إلى أصناف قصيفة وذلك بجانب الإجهادات الحرارية المتجمعة نتيجة لدورة التسخين .

فمن المعروف أن تكوين المرتنسيت يصحبه تشويه لخلية الحديد المكعبة ويحولها إلى منشورية قائمة مشوهة الأمر الذي يخلـف إجهادات دقيقة في الخلايا تبدو في صورة صلادة مفرطة أو قصافة وبذلك تتصف المنطقة التي تتعرض لدورة التسخين في غالب الأحيان بالقصافة (أي بفقد المطيلية Ductility) . ولكن تحديد مدى القصافة في المناطق المختلفة باستخدام اختبار الصلادة المعروف خاصة في المناطق المتأثرة بالحرارة وعند دراسة أثر العناصر المتسابكة مع الصلب على قابلية اللحام (تكوين مركبات قصيفة وشروخ . . الخ) وقد أدى ذلك إلى دراسة فعل العناصر المتسابكة ومعادلتها بالكربون الموجود في الصلب وتزداد قابلية التشرح بزيادة نسبة الكربون وتعمل العناصر الأخرى بنفس المفعول بزيادتها ولكن بدرجة تقل عن فعل الكربون ولذلك يقدر فعل العناصر الأخرى كنسبة من فعل الكربون

وذلك باستخدام تعبير المكافئ الكربوني . والذي يمثله العديد من العلاقات احدهما ما يلي :

$$C_{equiv} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \left(\frac{Cr + Mo + V}{10} \right)$$

وبحساب المكافئ الكربوني حسب نسب وجود العناصر المختلفة في الصلب يمكن تحديد قابلية التشرح .



أو يمكن أخذ العلاقة التالية :

$$C_{equiv} = C + \frac{Mn + Si}{4}$$

مثال :

احسب نسب قابلية التشرح للوعين التاليين من الصلب :

| كربون | منجنيز | سليكون |
|---------|--------|--------|
| 0,2 - 1 | 0,6 | 0,32 |
| 0,18-2 | 0,44 | 0,2 |

1- المكافئ الكربوني (1)
0,43 % =

2- المكافئ الكربوني (2)
0,34 % =

شكل (402-1)

وحسب المنحنى الموضح نجد أن الصلب الأول قابل للتشرح بينما الثاني لا يقبل .

وسائل تقليل قابلية التشرح : يمكن تقليل قابلية التشرح باعتبار ما يلي :

- استخدام الكنودات خالية من الهيدروجين أى قاعدية
(Basic) مجففة في الأفران عند درجة حرارة 250 إلى 300 درجة مئوية .

- استخدام إلكترودات أوستينية (لا تقبل التصلد) .
- استخدام طريقة التسخين الأولى الذى يسبق عملية اللحام (Preheating) لتوسيع المنطقة الساخنة حتى يتم التبريد ببطء وبالتالى تجنب تكون الأصناف القصيفة .

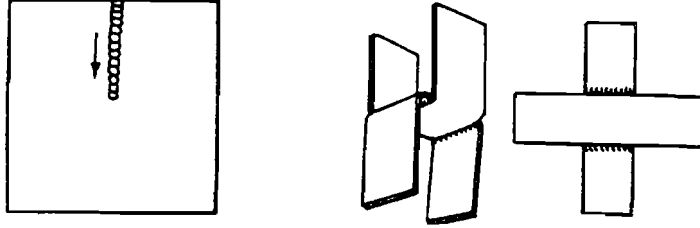
| قابلية التشرخ لسمك اللوح الملحوم مم | | | | درجة أقصى صلادة فيكرز فى وصلة اللحام |
|--|------|-----|------|---|
| 50 | 25 | 6,5 | 4 | |
| 0,4 | 0,45 | 0,5 | 0,6 | 350 ينصح بالتسخين الأولى لتجنب التشرخ |
| 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,45 | 250 بدون تسخين أولى |

الاختبارات الفنية لخواص قابلية التشرخ فى صلب المنشآت (الكربونى) وهذه الاختبارات تعتمد فى أساسها على كشف وجود إجهادات فى اللحام تسبب شروخ واضحة أو شروخ دقيقة .

1 - اختبارات التشرخ فى الألواح غير المجهدة (حرة غير مثبتة) :

- وتتم بلحام خوصتين متعامدتين (صليبة) بواسطة لهب الأكسى أستلين (سمك الخوصة من 1 إلى 2 مم وعرض 100 مم) ثم ثنى الخوص (كما فى الرسم) لعدة

مرات حتى تظهر الشروخ (فى المنطقة التى تعرضت للتسخين المفرط من اللحام) . شكل (1-404)

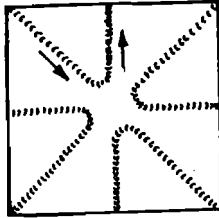


شكل (1 - 404)

- اختبارات فوك وولف Focke - Wulf :

يمرر لهب اللحام على لوح مربع من أركانه إلى المركز ثم يتجه نحو الأحرف الجانبية وفى مروره يجرى فحص خط المرور بواسطة ضوء اللهب . ثم يجرى فحص على القطاعات لاكتشاف الشروخ إما بالرؤية المجردة أو بالميكروسكوب . شكل (2 - 404)

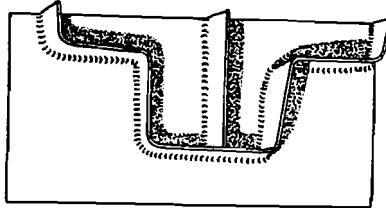
- اختبار كروب Krupp :



اختبار فوك د ولف

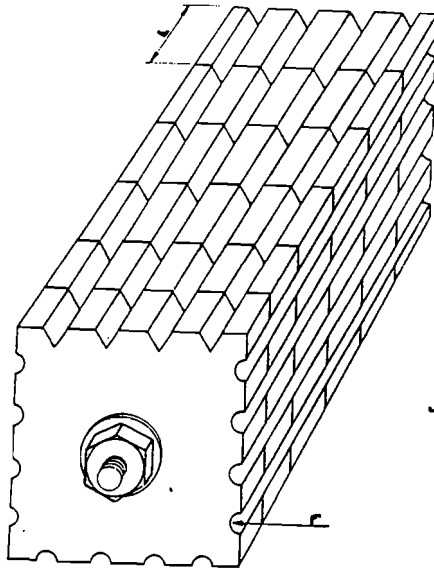
شكل (2-404)

ويجرى على لوح بسمك 1,2 مم بإجراء لحامات ركنية كما فى شكل (3-404) وعادة ما تظهر الشروخ فى ظهر اللوح .



شكل (3 - 404)

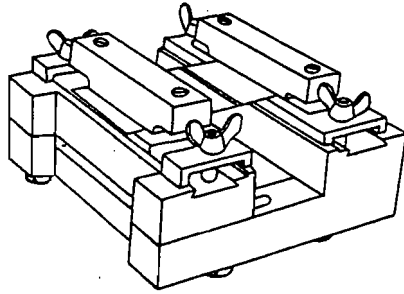
- اختبار براون بوفري :



تجمع ألواح بسمك مألوف
استخدامه في اللحامات ثم
تشكل أخاديد في الأوجه كما
في شكل (1 - 405) بالتفريز
على شكل حرف V أو بنصف
قطر 2 الى 5 مم ثم يجرى
اللحام بمسار واحد في الأخاديد
المستديرة أو متعدد المسارات
في شكل حرف V .
وعادة ما تظهر الشروخ في
المنطقة المتأثرة
بالحرارة .

شكل (1 - 405)

2 - اختبارات التشرخ في الألواح المجهدة (مثبتة الأطراف) :



أ - اختبارات بُولِيْثَرَات

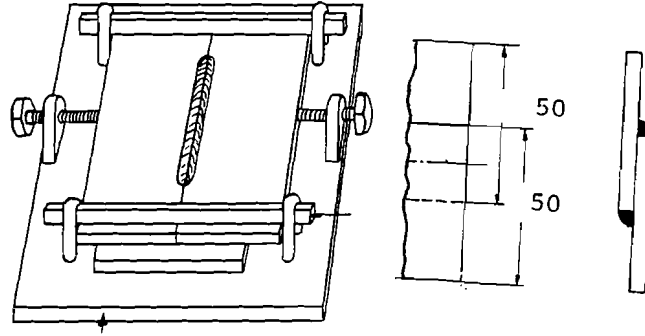
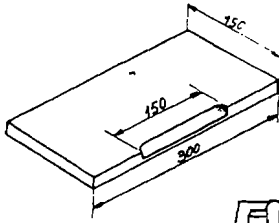
تثبت أطراف اللوح
بالرباط ثم يجرى
لحامها وهي مثبتة
ويراقب ظهور التشرخ .

شكل (2 - 405)

ب - اختبار مركز البحوث البريطاني

وهو مشابه للاختبار السابق بلحام لوحين بعد تثبيتهما
بإحكام فقط تختار أبعاد أخرى وتشطب العيننة
العيننة كما في الرسم (يجرى اللحام في الشطب فقط) .

شكل (1 - 406)



شكل (406-1)

شكل (406-2)

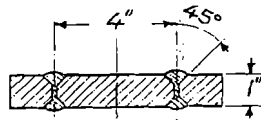
ويبدأ اللحام في الشطب بخط واحد بالقوس الكهربائي ثم يُترك ليبرد ويكرر اللحام للخط الثاني ثم يترك ليبرد ثم الخط الثالث وهكذا حتى يتم ملء الشطب . ثم تترك العينة مثبتة في وضعها ليوميــــن أو ثلاثة . ثم يكشف عن الشروخ الواضحة أو على مقطع في العينة لكشف الشروخ الدقيقة بالمجهر .

ج- اختبار أونيل Oneill :

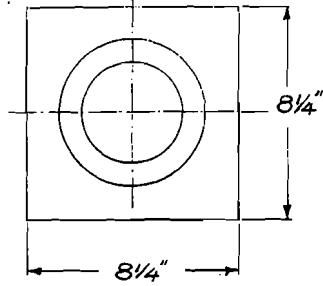
يُجرى على لوحين متراكبين كما في شكل (406-2) .

د - اختبار اللحام الحلقي :

ويتميز هذا الاختبار بصفة فريدة وهي كشف قابلية اللحام لسلك الحشو (الإلكترود في لحام القوس وسلك الحشو في لحام الأكسجين أستلين) والعينة هنا على هيئة قرص بقطر 180 مم وسماك 25 مم وتُشطب من جهة واحدة أو من جهتين ثم تلحم في إطار مجوف دائرياً كما في الشكل (1 - 407) .

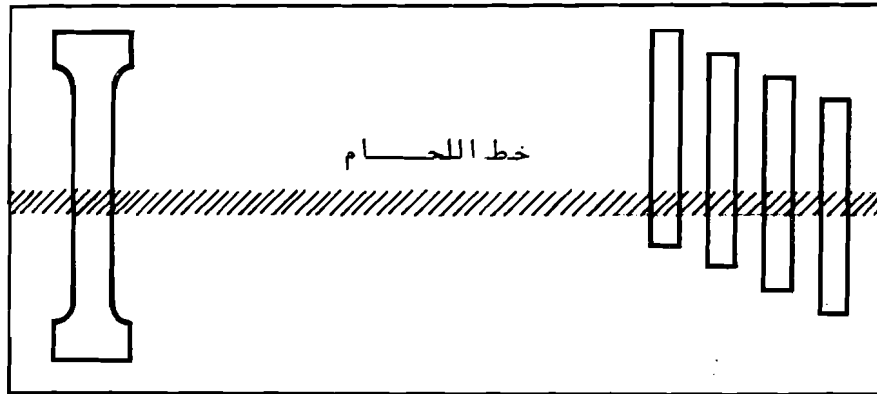


- اختبار الخواص الميكانيكية (الشد - والمتانة)

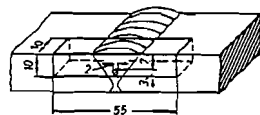


(407-1)

بعد التحقق من خلو الوصلة
من الشروخ يجرى قطع عينات لإجراء
اختبارات الشد بحيث يقع خط
اللحام فى أماكن مختلفة من
العينة وكذلك الأمر بالنسبة
لعينات الصدم . شكل (3 ، 2-407)



شكل (2-407)



شكل (3-407)

عينة الصدمة مع الحز

الاعتبارات المختلفة فى اختيار طرق اللحام المناسبة للمشغولات المختلفة :

يلعبُ اختيار طرق اللحام المناسبة لكل مشغولة دوراً رئيسياً فى إنتاج مشغولات جيدة يمكن الاعتماد عليها فى أداء مهامها ويكون إنتاجها بطريقة اقتصادية . وتبدأ العملية بالتصميم الصحيح لوصلات اللحام واختيار المواد المناسبة للحشو ومساعدات الصهر ثم اختيار طريقة اللحام المناسبة ثم التنفيذ وأخيراً اختبار الجودة أثناء الإنتاج وبعد انتهاء المشغولة . وربط العلاقة بين جودة المنتجات كما وكيفا مع التكاليف .

ويجب أن تتوفر معلومات قابلية اللحام للمواد التى يقترح لحامها لدى المصمم بقدر كاف ليأخذها فى الاعتبار فى تصميم المنتجات وإن غابت هذه المعلومات فيجب إجراء تجارب أولية لتحديد هذه القيم ليتم التصميم على أساس سليم . ويمكن تقسيم المنتجات إلى ثلاثة أنواع :

لحام منشآت - لحام أجزاء هندسية (مكينات) - لحام منتجات نصف مصنعة فى اللحام المنشآت ويتم تجميع الأجزاء لعمل منشأ متكامل مثل الجسور الحديدية والسفن ومنشآت المبانى والرافع - مصانع الكيماويات - أوعية الضغط - فرش المكينات وغيرها .

وفى الأجزاء الهندسية يتم لحام الأجزاء البسيطة فى شكلها لتكوين جزء مركب مثال ذلك الصمامات - الأسطوانات الهيدروليكية - الأجزاء الكهربائية - وسائل نقل الحركة - مسننات التوجيه - تعليق السيارات والمركبات - المكينات الدوارة وغيرها .

أما المنتجات نصف المصنعة فهى على سبيل المثال إنتاج الأنابيب الملحومة حلزونياً أو طولياً - الكمرات بقطاعاتها المختلفة - الشبك السلكى (الملحوم بالبقعة) - أسلحة المناشير وغيرها .

ويكمن الهدف من هذا التقسيم فى إمكان اختيار طريقة اللحام التى تكون يدوية أو نصف أوتوماتية أو أوتوماتية فى كل طرق اللحام المعروفة .

ويؤخذ فى الاعتبار عند اختيار طريقة اللحام المناسبة الإمكانات المتاحة من معدات وعمالة مدربة ذات خبرة . بجانب دراسة إمكان تنفيذ بعض اللحامات المكلفة فى الخارج مثل اللحام بالشعاع الإلكتروني بدلاً من شراء معداتها المكلفة ليظل الإنتاج فى الحدود الاقتصادية ويمكن على

هذا الأساس تقييم عمليات اللحام من وجهة نظر تكلفتها حسب الجهد والتالى :

التكلفة النسبية لعمليات اللحام المختلفة .

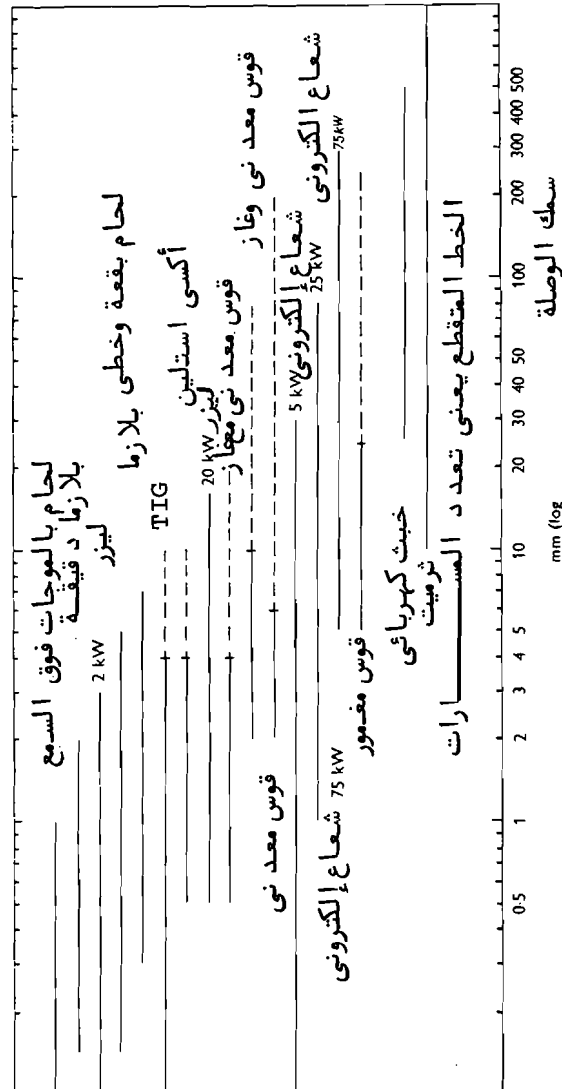
| طريقة اللحام | نسبة التكلفة (نقطة) | أسلوب الطريقة المستخدمة | المواد المستهلكة الحشو ومساعد الصهر |
|--|--------------------------|----------------------------|---|
| القوس المعدنى (فى الورشة) | 1 | يدوى | إلكتروودات |
| القوس المعدنى (متنقل) | 3 | رر | رر |
| الالكترودات المعكوسة المستمرة (لفات) | 4 | أتوماتى | رر |
| القوس المغمور | 10 | رر | مساعد صهر + سلك |
| الخبث الكهربائى باستخدام الأسلاك | 20+ | رر | رر رر رر |
| إلخبث الكهربائى (باستخدام أداة مستهلكة) | 4 | رر | رر رر + د ليل |
| قوس التنجستن (تيار مستمر) | 1,5 | يدوى + أتوماتى | غاز + سلك |
| رر رر (تيار متردد) | 2 + | يدوى + رر | رر رر |
| رر رر (تيار نبضات) | 6 - 10 | أتوماتى | رر رر |
| قوس البلازما الدقيق | 2 + | يدوى + أتوماتى | رر رر |
| القوس المعدنى مع غاز | 1,5 - 5 | نصف أتوماتى + أتوماتى | رر رر |
| لحام الجويط Stud | 4 | نصف أتوماتى + أتوماتى | أطواق + حلقات |
| لحام المقاومة بتفريغ لمكثفات | 1 - 4 | نصف أتوماتى + أتوماتى | جويط خاص |
| اللحام بالتفريغ بالشرارة | 0,2 - 5 | يدوى + أتوماتى | — |
| لحام المقاومة الكهربائىة البقعة والخطى | 1,5 - 15 | نصف أتوماتى + أتوماتى | — |
| لحام البروزات | 1,5 - 15 | أتوماتى | — |
| لحام الومىض | 4 - 50 | رر | — |
| لحام المقاومة التناكبى | 0,50 - 10 | رر | — |
| اللحام بوقود غازى وأكسجين | 0,2 + | يدوى + أتوماتى | غاز + سلك + صهر |
| الشعاع الإلكترونى | 10 - 150 | أتوماتى | — |
| اللحام بالاحتكاك | 4 - 100 | رر | — |
| اللحام بالانتشار | 10 + | رر | — |
| الشرميت | 0,2 | رر | قالب ومسحوق |

ويُضَافُ إلى هذه التكلفة أجور العمال حسب المهارة فى كل طريقة لحام.

كما يتم الاختيار بأخذ سمك الوصلة فى المشغولة فى الاعتبار فمثلاً لا يمكن لحام الألواح الرقيقة نسبياً بالخبث الكهربائى بل يختار مثلاً اللحام بثانى أكسيد الكربون أو اللحام بالأكسى أستلين أو بالكتـرود التنجستن مع غاز واق كما لا يمكن لحام ألواح بشخانة أكبر من 50 مم بالبقعة بل يختار القوس المغمور أو تحت الخبث ويوضح الشكل (1- 411) التالى حدود الشخانات الممكنة لكل طريقة من طرق اللحام ويدخل كذلك فى الاعتبار قابلية التشرح مع زيادة سُمك الوصلة عند التبريد السريع الذى تفرضه ظروف طريقة اللحام وما قد يتبع ذلك من تصلد أو تشرح هيدروجينى إن لم تتخذ الاحتياطات لمنع التبريد السريع .

ومن البديهي أن تلعب مادة المشغولة الدور الرئيسى فى اختيار طريقة اللحام فبينما لا يشكل الصلب اللدن صعوبة فى اللحام بمعظم طرقه نجد على سبيل المثال أن سبائك الألومنيوم على النقيض من ذلك فسبىكة الدورالومين $Al - Cu - Mg$ يجب تجنب لحامها بمساعدات الصهر المعتدية لمنع التآكل فى سبىكة الألومنيوم هذه ولذلك تختار طريقة MIG أو الشعاع الإلكترونى وكذلك الحال فى سبائك التيتانيوم التى يجب حمايتها من وجهى اللحام بالغاز الواقى .

وبعض السبائك تتصلد بسبب دورة التسخين فى اللحام ولوجود عناصر تسابك تساعد على ذلك فمثلاً يؤخذ المكافئ الكربونى فى الصلب فى الاعتبار مقياساً لقابلية التصلد . وبجانب ذلك أيضاً التشرح الهيدروجينى فى الصلب الذى يحدث بسبب وجود الهيدروجين أو الرطوبة فى جو القوس سواء فى الصلب أو فى الحشو أو فى مساعـد الصهر (الكسوة) فوجود الرطوبة (الماء) يؤدى إلى تحرر الهيدروجين بالتفاعل مع الحديد وأكسده . أو حتى تحلل الماء إلى أكسجين وهيدروجين أو بتفاعل مع الكربون وتولد أول أكسيد الكربون . وكل تفاعل يولد الهيدروجين يُعْتَبَرُ ضاراً للصلب فعند تكون أى آشـار للمرتنسية أثناء التبريد قد ينشأ عنه شروخ معتدة فى الصلب ويعتقد أن هذه الشروخ تنشأ من انفعالات موضعية تصاحب تكون صفائح



حدود الشخانات لكل أنواع اللحام

شكل (1 - 411)

المرتنسيت وهى تكون فى غالبها شروخا دقيقة جدا ويمكن أن تلتئم ذاتيا إذا خلى الصلب من الهيدروجين إلا أن وجود الهيدروجين يساعد على تطور الشرخ وزيادته حتى فى درجة حرارة الغرفة بسبب ضغطه البالغ الارتفاع ولذلك يجب الحرص على خلوسلك اللحم وكسوته من الهيدروجين (الكثرودات قاعدية) والرطوبة (بالتحميم قبل اللحم والحفظ فى أجواء جافة) .

كما يؤخذ فى الاعتبار عند اختبار طريقة اللحم احتمالات تكوّن مسامية فى وصلة اللحم بسبب التفاعلات الكيميائية وما تولده من غازات تحتبس أثناء التجميد والتبريد .

وبجانب ذلك يؤخذ فى الاعتبار متانة المنطقة المتأثرة بالحرارة والتي تتأثر أساسا بتركيب سلك الحشو ونسبة التخفيف ومساعد الصهر والطاقة المستخدمة لكل وحدة طول من خط اللحم وعدد المسارات ويمكن ترتيب عمليات اللحم تنازليا حسب متانة منطقة اللحم .
القوس اليدوى - الأسلالك المحشوة من الداخل - القوس المغمور - الغاز والخبث الكهربائى .

ولا يجب أن يغيب عن الذهن أيضا اعتبار التآكل وخاصة فى خط اللحم والمنطقة المتأثرة بالحرارة وما تعانيه هذه المنطقة من ظواهر الترسيب والتعتيق المفرط وتلف اللحامات وهى عوامل تتوقف على درجة الحرارة والزمن أثناء دورة اللحم .

عيوب وصلات اللحام :

يمكن إيجاز معظم عيوب وصلات اللحام فيما يلي :

- عيوب تشويه فى الجزء الملحوم .
- عيوب فى وصلة اللحام .

أولاً : عيوب التشويه فى المشغولات التى تنشأ عن تعرضها للدرجة الحرارية التى تتم فى أثناء اللحام

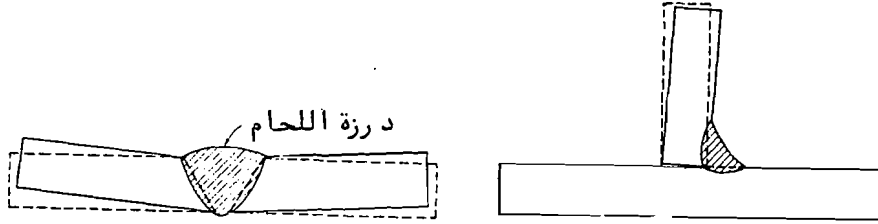
=====

إنَّ من النادر أن تنجو مشغولة يتم لحامها سواءً بلحام الصهر أو بالضغط على البارد أو على الساخن أو حتى باللحام بالسبائك الصهيرة بنوعيتها أن تنجو من التشويه فى الشكل والأبعاد، إلا أن مقدار هذا التشويه يختلف اختلافاً بيناً من مشغولة إلى أخرى ومن مادة إلى أخرى ومن طريقة لحام إلى طريقة أخرى . وفى بعض الأحيان يكون التشويه ضئيلاً لا يُلَمَسُ أثره ولا يُعْتَد به ولا يعوق أداء المشغولة لوظيفتها وفى أحيان أخرى يكون التشويه واضحاً ملموساً يرى بالعين المجردة . وقد يودى إلى اخفاق المشغولة فى أداء مهمتها ومن ثم تعتبر تالفة وترفض .

وَتُعْتَبَرُ أهم أسباب التشويه فى المشغولات هى الإجهادات الحرارية التى تنشأ من إجراء التسخين الموضعي لها فى مواقع اللحام أو التسخين فى القطاعات مختلفة السمك أو بسبب التخلص الموضعي من الإجهادات المتبقية فى المشغولة أصلاً بسبب تشكيلها على البارد قبل إجراء اللحام وعند التسخين أثناء اللحام يتم إزالة هذه الإجهادات فى مواقع اللحام دون باقى أجزاء المشغولة فيحدث تغير فى الأبعاد بالانفعال بسبب التشويه . كما أن درزة اللحام بالصهر تُعَانِي من التقلص الناشئ عن الانتقال من طور المنصهر إلى العجم ثم الانكماش

الحرارى بالتبريد إلى درجة حرارة الغرفة بعد ذلك فيحدث التشويه .

ويوضح شكل (1 - 414) النتائج المباشرة للتشويه بالتقلص والانكماش لوصلة لحام بالصهر متناكبة وأخرى زاوية .



شكل (1 - 414)

ولا يمكن حساب مقدار هذا التشويه إذ أن عملية اللحام لا يجوز محاكاتها بحالات التقلص والانكماش المبسطة التي تحدث في المسبوكات أو في عمليات تسخين المشغولات سواء كلياً أو موضعياً فالتسخين والصهر والتجميد والتبريد تتم موضعياً وبصورة متحركة في وصلات اللحام ولذلك يعتمد على القياس العملي لهذا التشويه في كل حالة .

وكما يحدث التشويه بصورة زاوية في المشغولات المستوية أو في لحام الزوايا يحدث أيضاً انكماش طولى وعرضى في المشغولات الملحومة .

ويمكن الاعتماد على العلاقات التجريبية لتقدير التشويه أو التغير في الأبعاد للمشغولات الملحومة مثال ذلك العلاقة التجريبية التالية التي تربط الانكماش العرضى في الوصلات (St) من سمك 6 مم إلى 25 مم مع مساحة مقطع اللحام (AW) وسمكه (t)

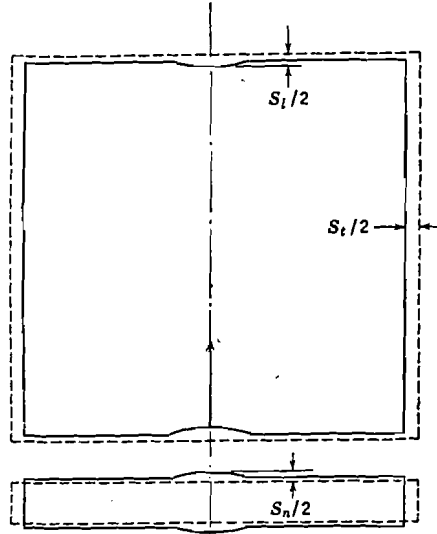
وعرض الشفرة عند الجذر Gr

$$St = 0.18 \left(\frac{Aw}{t} \right) + 0.05 Gr$$

أما الانكماش الطولى فيكون

$$s_1 = 0.025 \left(\frac{Aw}{\bar{A}_p} \right)$$

مساحة مقطع اللوح شكل (1 - 415) = \bar{A}_p



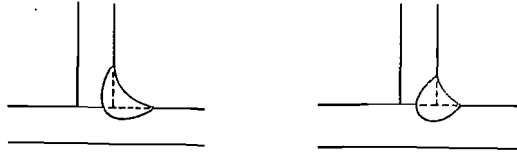
شكل (1 - 415)

ولا توجد علاقة تجريبية يُعتمدُ بها فى تقدير التشويه الزاوى سواء فى الألواح أو الزوايا الملحومة . وذلك يعتمد على القياس فى كل حالة على حدة .

وسائل تجنب التشويه أو التقلص فى وصلات اللحام :

إن الوسائل التى يجب أن تتبع لتجنب أو تقليل التشويه أو التقلص أو الانكماش فى وصلات اللحام تستمد مادتها من الخبرة العملية المتجمعة من ممارسات عمليات اللحام المختلفة وتأويل الظواهر الأساسية للتشويه للمنطق العلمى السليم ويمكن إيجاز بعض المبادئ الإرشادية التى يمكن اتباعها على هذا الأساس كما يلي :

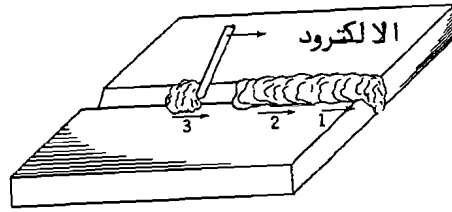
- فى لحام الزوايا يجب أن تكون درزة اللحام متماثلة فى جميع الاتجاهات حول نقطة رأس الزاوية شكل (1 - 416) . كما يمكن ضبط وصلة اللحام فى وضع غير مستقيم بل وضع زاوى مضاد



شكل (1-416)

مقداراً واتجاهاً للتشويه الزاوى المحتمل وقوعه بعد اللحام فيرتد وضع الوصلة إلى الوضع المستقيم بعد اللحام تقديراً مقدار الضبط الأولى بمعايير الخبرة والقياسات السابقة .

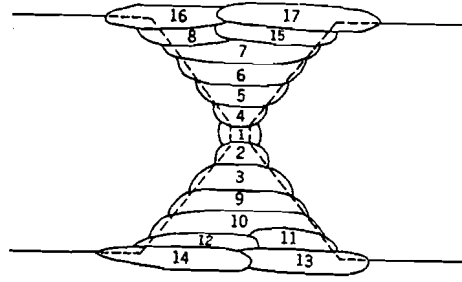
- فى لحام الوصلات المستوية أو الزوايا يتبع تسلسل خاص فى تقدم خط اللحام باستخدام أسلوب اللحام فى خط متقطع يتم التقدم فى كل خط فى اتجاه مضاد لخط اللحام الرئيسى شكل (1 - 417) .



شكل (417-1)

كما يمكن معادلة التشويه فى حالات الدرزات متعددة المسارات باتباع أسلوب التبادل بين كل مجموعة من المسارات فمثلا فى الوصلات السمكية التى تجهز بشكل حرف (X) يبدأ المسار الأول فى الوسط ويليه المسار الثانى ثم الثالث كلها متراكبة فوق بعضها فى جهة واحدة ثم يحدث التبدل باللحام فى الوجه المقابل بالمسار الرابع ثم الخامس ثم السادس ثم السابع متراكبة فوق بعضها فيعادل التشويه الناشئ من المسارات الأولى ذلك التشويه الناشئ من المجموعة الثانية وهكذا شكل (1 - 418) .

وهناك كذلك وسائل استخدم ام مثبتات لتقليل التشويه أثناء اللحام فتعسك الوصلة بمثبت جسىء يمنع تشويهها أثناء إجراء عملية اللحام وبعد انتهاء اللحام تفك المثبتات فلا يحدث تشويه بها اللهم إلا قدر ضئيل جدا ناشئ عن الإجهادات المرنة للوصلة إما الإجهادات اللدنة فإنها تلاشى نفسها بالتشكيل الذاتى داخل المثبت أثناء اللحام .



شكل (418-1)

الإجهادات المتبقية فى الوصلة بعد اللحام :

تختلف إجهادات مختلفة المقدار والنوع فى المشغولات بعد إتمام اللحام بها فبعض هذه الإجهادات يكون فى بعض المناطق شداً وفى الآخر ضغطاً وأحياناً قصاً موجباً وأحياناً أخرى قصاً سالباً وتكون محصلة هذه الإجهادات صغراً قبل تحميل المشغولات وقد تقوى هذه الإجهادات للتغلب على مقاومة المعدن فى بعض المناطق فتؤدي إلى انهياره أو تشكيكه تشكيلاً لدناً فتشوهه وقد لا تقوى هذه الإجهادات على الانهيار ولا يعنى ذلك حينئذ بأى حال من الأحوال انعدام وجودها بل أنها تظل موجودة وكامنة بالمشغولة وتكمن الخطورة حينئذ فى أنه عند تحميل هذه المشغولات عند استخدامها بإجهادات إضافية ستترافق هذه الإجهادات مع الإجهادات المتخلفة عن اللحام ويتكاثف لكسر المشغولة فى كثير من الأحيان (إن وصلت محصلة هذه الإجهادات إلى المقدار الذى يقوى على ذلك) هذا بجانب أن هذه الإجهادات المتخلفة فى المشغولة بعد اللحام تساعد على تآكل المعدن إن تعرض إلى بيئة عدوانية مثل الغازات أو الأحماض المهاجمة أو محاليل

الأملاح أو حتى الماء أو الرطوبة وقد يستمر هذا التآكل حتى ينهار الجزء المتآكل بنقص في مساحة مقطعه المعرض للحمل . وقد يكون ذلك بالكسر القصيف أو بفقد المعدن لقدر من مطيليته .

وتبرز خطورة هذه الإجهادات المتخلفة عن اللحام من ناحية أخرى في كونها تكون موجبة في مناطق معينة وتعاد لها إجهادات سالبة في مناطق أخرى في المشغولة نفسها وحين يحتاج الأمر إلى إجراء عمليات تشغيل وإزالة طبقات من معدن المشغولة فإن ذلك يتم بنزع هذه الطبقات بما فيها من إجهادات فينعدم الاتزان بين الإجهادات السالبة والموجبة فيؤدي ذلك إما إلى كسر المشغولة وإما إلى تشويهها بالتشكيل اللدن تحت تأثير الجهد غير المعادل فالأسطح المستوية تتحدب أو تتقعر والثقوب المستديرة تفقد استدارتها وتصبح بشكل قطع ناقص كما تتغير أبعاد المشغولة في مناطق على حساب مناطق أخرى وهكذا .

قياس الإجهادات الداخلية المتخلفة عن اللحام :

يمكن قياس الإجهادات الداخلية المتبقية في المشغولة الملحومة إما بالطرق المتلفة أي باتلاف المشغولة أثناء الاختبار فلا تعود صالحة للإستخدام وإما بالطرق غير المتلفة أي دون المساس بشكل أو بأبعاد المشغولة أثناء الاختبار فيمكن الإستفادة بها .

تعتمد الطرق المتلفة على لصق أشرطة قياس الانفعال Strain gauges (أشرطة بها موصل تتغير مقاومته الكهربائية باستطالته) على الموقع المطلوب قياس الإجهادات الداخلية المتخلفة فيه . ثم تنزع طبقة من المعدن من الوجه الآخر فتبدأ المشغولة في التشكل بتأثير عدم معادلة (توازن) الإجهادات السابق الإشارة إليها فتستطيل أشرطة قياس الانفعال أو تنكمش حسب نوع الإجهادات ، إذا كانت شدًا أو ضغطًا وتتصل أشرطة قياس الانفعال بجهاز قياس التغير في المقاومة الكهربائية بدقة عالية

(باستخدام جسر هويتستون (Wheatstone Bridge))
ويحول التغير في المقاومة الكهربائية إلى مقدار الاستطالة أو الانكماش
(الانفعال) بالضرب في معايير أو ثابت شريط قياس الانفعال ثم
يقسم الانفعال على مُعامل يونج (معامل المرونة) لمعدن المشغولة
فنحصل على الجهد المناظر للانفعال ويستمر نزع طبقات المعدن
وقياس الانفعال وحساب الجهد حتى ينتهي التغير . ويمكن تكرار
ذلك باستخدام أشرطة قياس الانفعال في الاتجاهات الثلاثة
الرئيسية لتقدير الإجهادات في الاتجاهات الثلاثة بدقة مقبولة . ويتم
نزع الطبقات إما ميكانيكياً بالتشغيل بالخرط أو القشط أو التجليخ
أو الثقب ولما كيميائياً باستخدام الأحماض المهاجمة أو كهروكيميائياً
بالتشغيل الكهروكيميائي .

أما الطرق غير المتلفة فأهمها: استخدام حييد الأشعة السينية
X . Ray diffraction والتي يمكن بها قياس التغير في طول
ضلع خلية معدن المشغولة (مقارنة بطول ضلع الخلية الخالية من
الإجهادات) وبقسمة هذا التغير بالنسبة لطول ضلع الخلية على
معامل يونج ينتج الجهد المسبب لتغير طول ضلع الخلية . وتتيح
هذه الطريقة قياس الإجهادات على المستوى الدقيق Micro Stresses
إلا أن هذه الطريقة مكلفة وتحتاج إلى معدات ضخمة ومعقدة
بعض الشيء .

وسائل تخفيف الإجهادات الداخلية المتخلفة عن اللحام :

يمكن تخفيف الإجهادات الداخلية المتخلفة عن اللحام بعدة طرق
بعضها طرق حرارية وبعضها ميكانيكية .

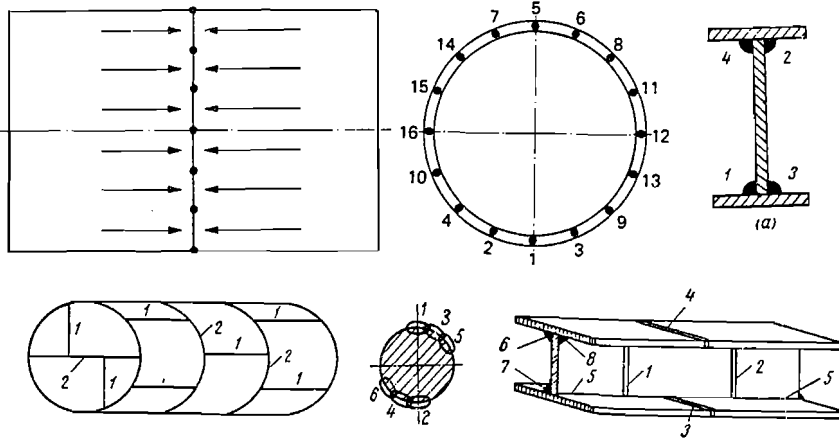
في أحد الطرق الحرارية تسخن المشغولة كلها إلى درجة
حرارة بدء تخفيف الإجهادات Stress relief تكون للصلب
نحو 650 °C درجة مئوية والتي عندها ينخفض جهد حد الخضوع
لمعدن المشغولة انخفاضاً حاداً يتراوح بين سدس وعشر قيمته
في درجة حرارة الغرفة فتتلاشى كل الإجهادات الداخلية التي

تزيد قيمها عن هذا الحد (وذلك بتشكيل اللدن) ثم يتم تبريد المشغولة ببطء لتجنب وجود أى انحدار حرارى فى داخلها حتى تتولد إجهادات حرارية جديدة .

وفى طريقة أخرى يتم تسخين المشغولة من وجهيها أثناء اللحام فمثلا يمكن استخدام بُوريتين للحام كل واحد فى وجه من أوجه المشغولة وبسير اللحام بطريقة تبادلية حتى يزول كل بورى ما يخلفه الآخر من إجهادات حرارية .

أما الطريقة الميكانيكية فيتم فيها إجهاد المشغولة كلها فوق حد الخضوع بانتظام ثم يزال الإجهاد ببطء وانتظام فتتلاشى الإجهادات التى على المستوى الماكروسكوبى .

كما أنه يجب اتباع أسلوب اللحام بالتماثل فى الاتجاه القطرى فى لحام القطاعات المستديرة وشكل (1 - 421) يوضح مثالا للتسلسل الذى يحقق التماثل ويخلف أقل إجهادات ممكنة .



شكل (1 - 421)

١ الهدف :

يمثل هذا العرض الموجز جميعا للعيوب المتوقع حدوثها فى لحام الصهر وتصنيفها ووصفها ويقتصر هذا التصنيف على وصلات اللحام المعدنية دون التعرض لتأثير قوى التحميل . ويتعرض هذا التصنيف لأنواع وشكل العيوب (الشكل الهندسى) ومواقعها ويصير فى هذا التصنيف ترتيب هذه العيوب حسب درجة أهميتها ومدى خطورتها ، وتعطى العيوب الرئيسية عددا كوديا من ثلاث خانات طبقا لمواصفات المعهد الدولى للحام IIW .

تعريف :

تعرف العيوب بأنها فى المعتاد حيد عن الشكل الهندسى المتكامل المتوقع لشكل وصلة اللحام ويعطى كل نوع من أنواع العيوب عددا كوديا من عدة خانات يدل على نوعه وشكله وموقعه فمثلا العدد I021 يدل على شرح عرضى والرمز I022 يدل على شرح عرضى فى المنطقة المتأثرة بالحرارة ويمكن كذلك الجمع بين الرمز 1021 / 1022 حينما يراد الدلالة على شرح عرضى يمتد من موقع خط (فجوة) اللحام حتى المنطقة المتأثرة بالحرارة .

التصنيف :


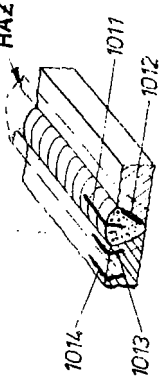
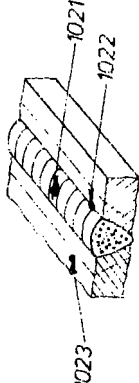
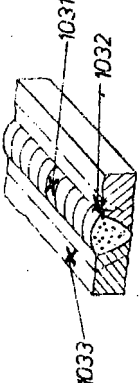
تنقسم عيوب وصلات اللحام إلى الأنواع التالية :

| | |
|----------------------------|---|
| المجموعة الأولى من العيوب | الشروخ |
| المجموعة الثانية من العيوب | فجوات |
| المجموعة الثالثة من العيوب | محتويات جامدة |
| المجموعة الرابعة من العيوب | عيوب التحام وعدم التوصل إلى لحام مخترق (نافذ) |

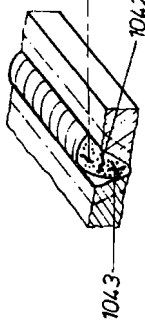
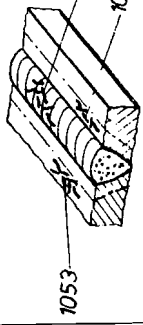
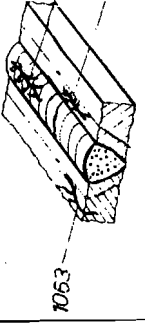
| | |
|----------------------------|------------|
| المجموعة الخامسة من العيوب | عيوب الشكل |
| المجموعة السادسة من العيوب | عيوب أخرى |

لا يمثل هذا التقسيم تدرجاً كمياً فى التقييم بقدر ما هو تقييم كئفى والجدول التالى يعطى تدرجاً تصاعدياً للعيوب طبقاً لما هو متفق عليه دولياً .

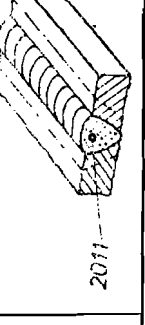
وقد أعطى لكل عيب رئيسى عدداً رمزياً (كودى) مكون من ثلاثة أرقام أما العيوب الثانوية فعددها الرمزى مكون من أربعة أرقام ، وكذلك إعطاء هذه العيوب الحروف الرمزية الدالة عليها طبقاً لنظام المعهد الدولى للحام (IIW) هذا بجانب وصف هذه العيوب بالكلمات والرسومات التوضيحية .

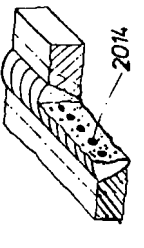
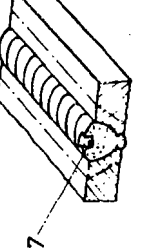
| الرمز الكودي | الرمز | السبب المحتمل للعيوب | التسمية | الشرح | الرمس |
|--------------|-------|--|------------------|--|--|
| | | | | المجموعة الأولى للعيوب | |
| 100 | E | نقص في تنظيف سطح المشغولة | شرح | انفصال طبقة اللحام عن المعدن الأصلي مع تطور سطح الانفصال |  |
| 1001 | - | | شرح دقيق | لا يمكن اكتشاف الشرح إلا باستخدام الميكروسكوب | |
| 101 | Ea | تقابل جيتها التجميد بأكاسيد بكل منهما على السطح | شرح طولي | شرح في اتجاه درزة اللحام ويقع في : درزة اللحام |  |
| 1011 | - | أكاسيد على المشغولة | | سطح الفصل (حدود الذرقة) | |
| 1012 | - | إجهادات حرارية | | المنطقة المتأثرة بالحرارة المعدن الأصلي | |
| 1013 | - | | | | |
| 1014 | - | | | | |
| 102 | Eb | التأكسد بين طبقات التراكيب بالإضافة إلى الإجهادات الحرارية المختلفة من التجميد | شرح عرضي | شرح في اتجاه عرضي بالنسبة لدرزة اللحام ويقع في : - درزة اللحام - المنطقة المتأثرة بالحرارة المعدن الأصلي |  |
| 1021 | - | | | | |
| 1022 | - | | | | |
| 1023 | - | | | | |
| 103 | - | مواقع أكسدة + إجهادات | شرح على شكل نجمة | شرح على شكل نجمة ينبعث من موقع معين ويتشعب في اتجاهات مختلفة ويقع في : - درزة اللحام - المنطقة المتأثرة بالحرارة المعدن الأصلي |  |
| 1031 | - | | | | |
| 1032 | - | | | | |
| 1033 | - | | | | |

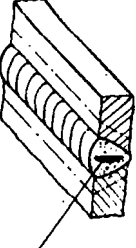
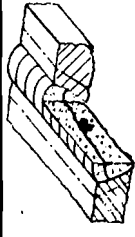
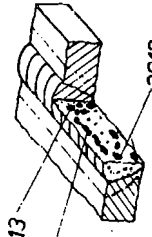

* يرمز للشروح عبر حد ود الحبيبات بالحرف (i)
* وللشروح عبر الحبيبات بالحرف (t)
intercrystalline = (i)
transcrystalline = (t)

| الرقم الكودى | الرمز | السبب المحتمل للعيوب | التسمية | الشرح | الرسم |
|--------------|-------|----------------------|-----------------|--|---|
| 104 | EC | | حفرة عند الحافة | شرح عند حفرة الحافة وينشأ فى : الاتجاه الطولى لد رزة اللحام الاتجاه العرضى لد رزة اللحام فى شكل نجمة |  |
| 105 | - | | شروخ متراكمة | لا تتصل مجموعة الشروخ بعضها ببعض وهى تنشأ فى : درزة اللحام المنطقة المتأثرة بالحرارة فى المعدن الأسمى |  |
| 106 | - | | | شرح رئيسى متفوع فيه شروخ أخرى وهى تنشأ فى : درزة اللحام المنطقة المتأثرة بالحرارة فى المعدن الأسمى |  |





المجموعة الثانية للعيوب : الفجوات

| | | | | | |
|------|----|--|----------------|---|---|
| 200 | - | | فجوة | | |
| 201 | A | تقلص التجميد وزيادة سرعة التقادم للحام | فجوة بها غازات | فجوة غازية فى درزة اللحام أو على حدودها وفى المنطقة المتأثرة بالحرارة | |
| 2011 | Aa | | فجوات غازية | فجوات كروية بها غازات |  |

| الرقم الكودي | الرمز | السبب المحتمل للعبس | التسمية | الشرح | الرسم |
|--------------|-------|--|----------------------|--|---|
| 2012 | - | ذوبان غازات في منصهر حشو اللحام | مسامية موزعة بانتظام | مسام عديدة متناشرة |  |
| 2013 | - | تولد غازات من تفاعلات كسوة اللحام في بعض المواقع | أعشاش من المسام | مسام متجمعة في موقع |  |
| 2014 | - | فجوات تقلص التجميد بسبب زيادة سرعة تقادم اللحام | مسام فسي خطوط | |  |
| 2015 | - | | قناه غازية | فقاعة غازية معتدة طوليا في الاتجاه الطولي لسبب رزلة اللحام وفي بعض الحالات يمكن أن تقع على السطح |  |
| 2016 | Ab | | مسام دودية | مسام غازية في شكل ديدان متباعدة لإتجاهات وتكون إما منفردة أو متجمعة (كالتطباع أقدام الطيور) |  |
| 2017 | - | | مسام سطحية | مسام مفتوحة على السطح |  |



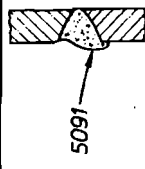
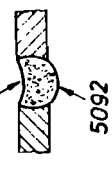
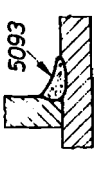
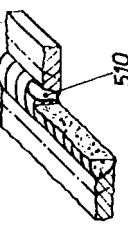
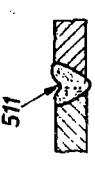
| الرقم الكودي | الرمز | السبب المحتمل للعيوب | التسمية | الشرح | الرسم |
|---------------------------|-------|---|--|--|---|
| 202 | K | تقلص التجميد بسبب زيادة سرعة اللحام | فجوات تقلص | فجوة ناشئة عن التقلص أثناء التجميد | |
| 2021 | - | رد | فجوات كبيرة تقع بين فروعنية interdendritic shrinkage (solidification hole) | فجوات تقلص بأشكال مختلفة وتقع في د رزة اللحام |  |
| 2022 | - | معظمها غازات كانت ذائبة في مصهور مادة الحشو | فجوات دقيقة Microshrinkage | فجوات تقلص دقيقة في د رزة اللحام ويمكن التعرف عليها باستخدام الميكروسكوب | |
| 2024 | - | زيادة سرعة التبريد والتجميد عند نهاية خط اللحام | فجوة عند نهاية (حفرة) د رزة اللحام | فجوة تقلص عند نهاية (حفرة) د رزة اللحام |  |
| المجموعة الثالثة للعيوب : | | | | | |
| 300 | - | مخلفات كسوة الإلكتروليتات | محتويات جامدة | محتويات جامدة من مواد غريبة في د رزة اللحام | |
| 301 | - | مخلفات كسوة الإلكتروليتات أو مخلفات أكاسيد وخبث من السابو | محتويات الخبث (غير حادة الحواف) | محتويات غير معدنية غير حادة الحواف وتقع في صورة : linear slag line | |
| 3011 | - | خط السابو | خبث في شكل خط | خطية linear slag line | |
| 3012 | - | رد | محتويات معزولة | أشكال واتجاهات مختلفة |  |
| 3013 | - | رد | محتويات متجمعة | متراكمة في موقع اللحام |  |

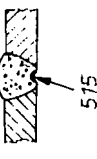
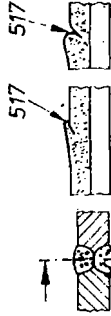
| الكود | رمز | سبب | تسمية | شرح | الرمز |
|-------|-----|---|---------------------------|---|-------|
| 302 | G | مثل السابق | محتويات خبيثة حادة الحواف | محتويات غير معدنية حادة تقع في درزة اللحام وتكون في صورة خطية | |
| 3021 | - | | محتويات خبيثة خطية | | |
| 3022 | - | | محتويات خبيثة معزولة | أشكال واتجاهات مختلفة | |
| 3023 | - | | محتويات خبيثة في أعشاش | متجمعة في موقع | |
| 303 | J | مخلفات خبث وأكاسيد من خطوط اللحام السابقة | محتويات أكاسيد | فشور غير معدنية تقع في درزة اللحام | |
| 304 | H | رد | محتويات معدنية | محشورات من معادن غريبة في درزة اللحام | |
| 3041 | - | برى الإلكترود بسبب زياده تسخينه | محتويات من التنجستن | | |
| 3042 | - | مخلفات طلاء أسلاك اللحام بثانسي أكسيد الكربون أو أى مصدر آخر للنحاس | محتويات من النحاس | | |
| 3043 | - | | محتويات من معادن أخرى | | |

| الرقم الكودى | الرمز | السبب المحتمل للعيوب | التسمية | الشرح | الرسم |
|-----------------------------|-------|---|---|-------|---|
| المجموعة الرابعة للعيوب | | | | | |
| 400 | - | ضيق زاوية تجهيز طرفى الوصلة نقص فى شدة التيسار | عيوب عدم التحام وعدم نفاذ اللحام عدم التحام وعدم نفاذ اللحام | | |
| 401 | C | تلوث سطح الوصلة نقص فى شدة التيسار مخلفات خبث من اللحامات السابقة | عدم التحام عدم التحام على الجوانب | | |
| 4011 | - | | | |  |
| 4012 | - | مخلفات خبث من خطوط اللحام السابقة | عيوب عدم التحام طولانية (بين المسارات والطبقات) | |  |
| 4013 | - | نقص فى شدة التيسار ضيق زاوية الشطب (الشطف) | عدم التحام عند الجذر Root | |  |
| 402 | D | نقص فى شدة التيسار اختيار قطب غير مناسبة للتيار المستمر | عدم اكتمال نفاذ اللحام | |  |
| المجموعة الخامسة عيوب الشكل | | | | | |
| 500 | - | إجهادات حرارية تقلص التجميد لبركة المنصهر | انحراف عن الشكل الموضوع لوصلة اللحام | | |

| الرقم الكودي | الرمز | السبب المحتمل للعييب | التسمية | الشح | الرسم |
|--------------|-------|--|--|----------------------|-------|
| 501 | - | | حزوز | | |
| 5011 | F | | حزوز محروقة ومستمترة | | |
| 5012 | - | | حزوز محروقة ومقطعة | | |
| 5013 | - | اتساع الفجوة بين طرفي الوصلة | حزوز تفلص جذرية (تقع عند الجذر) | حزوز على جانبي الجذر | |
| 5014 | - | عدم تنظيف أسطح اللحام بين المسار والمسار الذي يليه | حزوز طولية بين طبقات اللحام | | |
| 5015 | - | عدم مناسبة الحركة المعرضة للجزأ جية للإلكترودات بسبب اتساع مداها | حزوز عرضية غليظة على تحدد رزق اللحام | | |
| 5016 | - | اختيار إلكترود بقطر غير مناسب، عدم كفاية عدد مسارات اللحام | فجوة طولية على الدائرة (عدم امتلاء رزق اللحام) | | |
| 5017 | - | رد | فجوة طولية على الزاوية (عدم امتلاء الزاوية) | | |

| الرقم الكودى | الرمز | السبب المحتمل للعييب | التسمية | الشـرح | الرسم |
|--------------|-------|---|---|---|-------|
| 502 | - | اختيار إلكترود بقطر أكبر من اللازم بطء تقدم اللحام | تحدب كبير للد رزة (د رزة تناكبية) | | |
| 503 | - | رر رر | تحدب كبير للد رزة (د رزة زاوية) | | |
| 504 | - | اتساع الفجوة بين طرفى الوصلة زيادة شدة التيارات بطء تقدم اللحام | بروز كبير عند الجزر | يتصف ببروز مستمر عند الجزر مع وجود بعض القطرات | |
| 505 | - | زيادة قطر الإلكترود بطء تقدم اللحام | زاوية تحدب الد رزة كبيرة | زاوية كبيرة بين سطح الد رزة وسطح المعدن الأصلي | |
| 506 | - | زيادة سرعة تقدم اللحام | تراكب الد رزة | فائض من اللحام متركب على المعدن الأصلي دون التحام | |
| 5061 | - | زيادة شدة التيار | فيضان اللحام السطح مع تراكبه عليه | | |
| 5062 | - | زيادة شدة التيار | فيضان اللحام عند الجزر | | |

| الرقم الكودى | الرمز | السبب المحتمل للعييب | التسمية | الشرح | الرمز |
|--------------|-------|---|----------------------------------|--|---|
| 507 | - | عدم تثبيت طرفى الوصلة بالتبسيط قبل اللحام | انحراف (ترخيم) محوري ومتوازي | ترحيل الأجزاء الملحومة ترجيلا متوازيا |  |
| 508 | - | رر | انحراف زاوى | انحراف الأجزاء الملحومة انحرافا زاويا |  |
| 509 | - | | ترخيم الد رزة | تحول الد رزة عن موقعها المحدد بسبب وزنها الذي أتى | |
| 5091 | | بطء تقدم خط اللحام | د رزة محدبة لاسفل | تنشأ فى وضع اللحام الأفقى للأجزاء القائمة (الرأسية) |  |
| 5092 | | - اتساع فجوة الوصلة - اختيار غير مناسب لقطر الإلكترود | د رزة هابطة (متدلية) | تنشأ فى وصلات اللحام المتناكبة الأفقية |  |
| 5093 | | - اختيار غير مناسب لقطر الإلكترود | ترخيم الد رزة فى لحام الزاوية | ينشأ وصلات الزاوية |  |
| 510 | | عدم انتظام شدة التيار وجود خبث متخلف فجوة تقلص تجميع | احتراق نافذ | ثقب نافذ فى داخل أو على جانب د رزة اللحام |  |
| 511 | | سعة تقدم اللحام زيادة شدة التيار عدد المسارات غير كاف | تقع فى سطح الد رزة | عدم ملء فجوة اللحام |  |

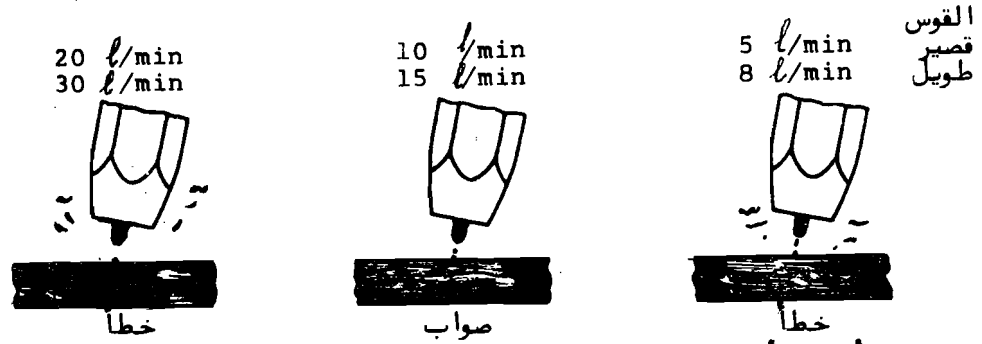
| الرقم الكودي | الرمز | السبب المحتمل للعيوب | التسمية | الشرح | الرسم |
|--------------|-------|--|---|--|---|
| 513 | - | سوء تجهيز طرفى الوصلة | عدم انتظام عرض الد رزة | | |
| 514 | = | عدم انتظام سرعة تقدم خط اللحام | سطح غير منتظم الشكل | مثلا : د رزة خشنة غير منتظمة فى تعرجها | |
| 515 | - | نقص فى شدة التيار اتساع الفجوة | تقعر الجذر | |  |
| 516 | - | غازات كانت ذائبة فى منصهر بركة اللحام | مسامية كبيرة للبركة (إسفنجية) | | |
| 5161 | - | رر | مسامية سطح الد رزة | | |
| 5162 | - | رر | مسامية جذر الد رزة | | |
| 517 | - | تأكسد بين طبقات اللحام، إهمال فى تنظيف خط اللحام السابق تمهيدا للخط اللاحق . | عيوب عند إعادة بدء اللحام (تغيير الإلكترود) | عيوب سطحية عند مواقع إعادة بدء اللحام |  |
| 5171 | | | عيوب إعادة بدء اللحام عند السطح | | |
| 5172 | | | عيوب إعادة بدء اللحام عند الجذر | | |

| الرقم الكودى | الرمز | السبب المحتمل للعيوب | التسمية | الشح | الرسم |
|--------------|-------|---|---|---|-------|
| 600 | - | | عيوب أخرى متعددة | وتشمل كل العيوب الأخرى التي لم ترد في المجموعات مضمنة إلى | |
| 601 | - | تكرار انطفاء وإشعال القوس - وإهمال التنظيف بينهما . | مواقع احتراق ناشئة من وميض إشعال القوس، آثار احتراق من تعدد إشعال القوس . | انصهار موضعي على سطح المعدن أو على سطح الد رة | |
| 6011 | - | | | مواقع محترقة متعددة ومتسلسلة | |
| 602 | - | تناثر منصهر من القوس بفضل زيادة شدة التيار | لحام متناثر | وجود قطرات لحام متصلة مع المعدن الأصلي على سطح الد رة | |
| 6021 | - | اختيار قطبية غير مناسبة للتيار المستمر | تنجستين متناثر | وجود أجزاء من التنجستين ملتصقة مع المعدن الأصلي على سطح الد رة | |
| 603 | - | إتلاف بعد إتمام اللحام | سطح معزق | تشويه موضعي السطح بسبب قيام غير المختص بنزع د رزات اللحام (مثل عمال النقل أو التركيب) | |
| 604 | - | | حزوز تجليخ | تشويه موضعي السطح بسبب قيام غير المختص بعملية التجليخ | |
| 605 | - | | حزور من أجنة | تشويه موضعي للسطح بسبب قيام المختص باستخدام الأجنة مثل إزالة الخبث | |
| 606 | | | أغوار تجليخ | تجليخ زائد بسبب نقص مقطع المعدن الأصلي أو د رة اللحام | |

أسباب عيوب د رزات اللحام الصهر باستخدام الغازات الواقية :

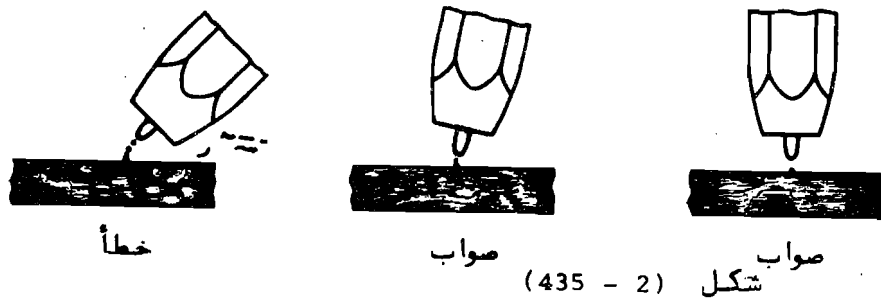
يعتمد نجاح لحام الصهر باستخدام الغازات الواقية على أن تتولى الغازات الواقية مهنتها بوقاية المعدن وهم منصهر وتظل في أداء هذه المهمة حتى يتجدد المعدن كله تماما ويمكن أن يتحكم في ذلك عدة مصادرها أهمها :

- استخدام معدل مناسب لسريان الغاز الواقى يتناسب مع الطاقة المستخدمة (قوس قصير أو طويل) شكل (1-435)



يمكن أن تنشأ السامية في الد رز لاختبار الخاطيء لمعدل سريان الغاز شكل (1 - 435)

- يميل البورى بزاوية مناسبة لا تتيج فرصة لتدخل الهواء في منطقة اللحام شكل (2 - 435)

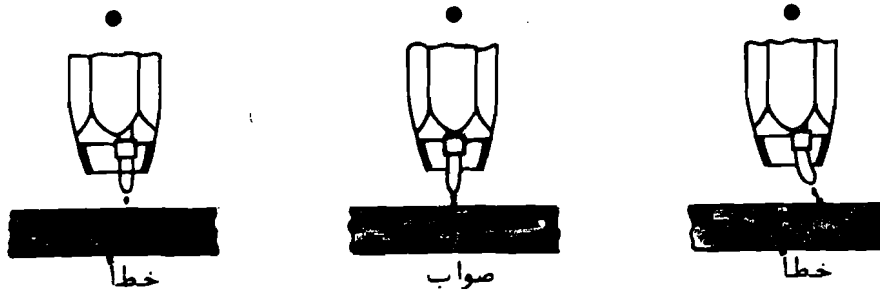


شكل (2 - 435)

- طول أو قصر القوس (المسافة بين طرف أنبوب خروج غاز الوقاية والمشغولة) يؤثر على درجة السامية في الد رز بجانب احتمال اشتعال القوس بين المشغولة والفوهة بدلا من الإلكتروود . كما يؤدي ثنى طرف الإلكتروود إلى نفس النتيجة شكل (1-436)



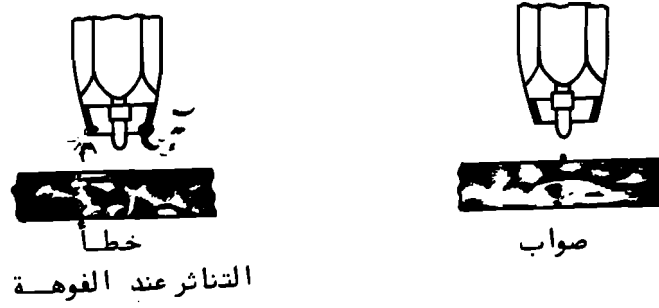
شكل (436-1)
- تمركزية الالكترود مع محور أنبوب غاز الوقاية اذ أن الإخلال به يؤدي
الى عدم انتظام القوس حلقيا وتتولد المسامية في درزة اللحام
شكل (2 - 436) كما يؤدي الى هذه النتيجة انحناء طرف الالكترود .



شكل (436-2)
- إحداث تناثر عند فوهة البورى يؤدي إلى انسداد مرور الغاز
شكل (436-2) ، (436-1,2) هذا بجانب سريان الغاز بصورة
اضطرابية مما يؤدي إلى المسامية والعلاج هو تنظيف الفوهة من حين
لاخر .



شكل
(436-3)

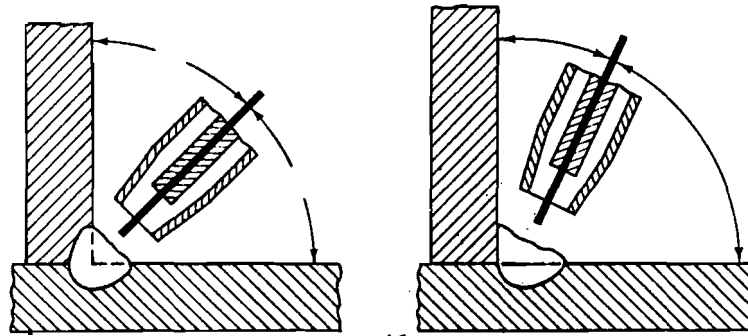


شكل (437-1)



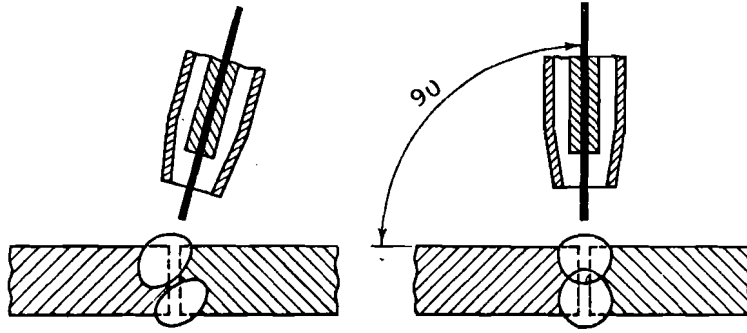
شكل (437-2) تراكم الطبقات

- في لحام الزوايا يُراعى تساوى زوايتى ميل البورى على الجانبين
والا نشأت د رزة غير متماثلة شكل (437-3)



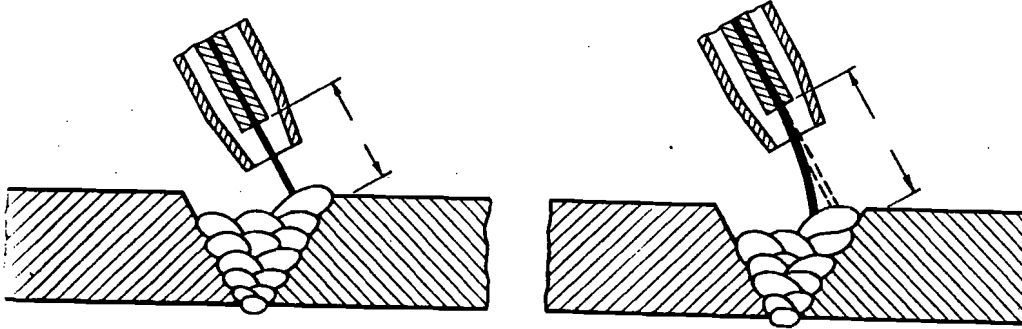
شكل (437-3)

- أن يميل البورى بزاوية 90 درجة على المشغولة فى لحام
الوصلات العتاكبة وإلا انحرفت د رزة الجذر عن محور الطبقة
التي تليها شكل (438-1)



شكل (438-1)

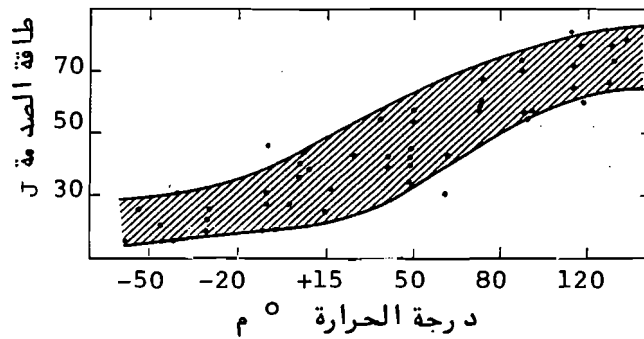
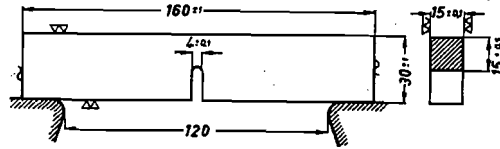
في اللحام بالمسارات المتعددة وصلة حرف (V) يجب التحكم في المسافة بين طرف الإلكترود والمشغولة بحيث لا يطول أكثر من اللازم وينشأ نقص في الانصهار كما يجب توجيه طرف الإلكترود إلى خط الدرزة حتى لا يتسبب انحرافه في إحداث السامية . شكل (438-2) .



شكل (438 -2)

اختبار وصلات اللحام والتفتيش عليها :

إن من أهم الخواص التي يجب أن تتوفر في وصلات اللحام هي أن تتحمل أحمالا مناسبة و / أو إحكام تسرب مائع ما و / أو مقاومة التآكل بفعل البيئة الموجودة بها المشغولة. وعلى هذا الأساس يجب تقييم وصلات اللحام بالاختبار والفحص والتفتيش . ولذلك سيتم الاهتمام بتعيين الخواص الميكانيكية وسلامة الوصلات من العيوب الظاهرة أو المخفية على المستويين الماكرو والميكرو (شروخ وفجوات ومحتويات أو تغيير في شكل البنية المجهرية) في اختبارات متلفة وهناك بجانب ذلك اختبارات غير متلفة .



أولاً : الاختبارات المتلفة Destructive tests شكل (1-439)

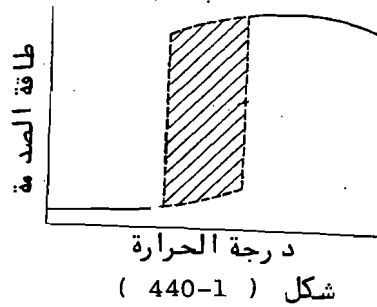
- الخواص الميكانيكية :

يهتمنا في هذا المقام كل الخواص الميكانيكية المعروفة ويُختار منها في كل حالة ما يُناسب ما تتعرض له الوصلة من إجهادات وظروف تحميل مختلفة فمثلاً يتم اختبار الشد التقليدي على عينات

ملحومة طوليا أو عرضيا شكل (407-2,3,4) لاستخلاص معظم الخواص الميكانيكية الهامة مثل حد المرونة وحد الخضوع وأقصى جهد شد وجهد الكسر والعتانة والمطيلية . ويمكن الرجوع إلى مرجع آخر به تفاصيل اختبار الشد وتقييم نتائجه . وكذلك صفحة 407 من هذا العمل .

كما يمكن إجراء اختبار الصدمة لتقدير الشغل المبذول في كسر العينات الملحومة والذي يُعْتَبَرُ مقياسا للعتانة (الديناميكية) بجانب العتانة التي يمكن الحصول عليها من اختبار الشد بتعيين المساحة تحت منحنى الجهد - الانفعال (العتانة الاستاتيكية) . كما يمكن أن يتم اختبار الصدمة مع عمل حز (Notch) في وصلة اللحام وذلك لتغيير نمط توزيع الإجهادات عند الحز بتركيزها عنده .

كما يمكن تقييم نوعية الكسر في عينات اللحام وتحديد ما إذا كان كسرا قصيفا Brittle بالانفصال بالشد المباشر على مستويات معينة في بنية المعدن وببد والمقطع معتما وبه حبيبات دقيقة لامعة ، أو إذا كان كسرا مطيلا Ductile بالانزلاق (بالقص) على المستويات الأكثر ازدحاما بالذرات في بنية المعدن . وبعض وصلات اللحام تتصف بالكسر القصيف وبعضها بالكسر المطيل والبعض الآخر يتحول من المطيل إلى القصيف بتغيير ظروف معينة مثل درجة الحرارة فالصلب على سبيل المثال يتغير كسره من المطيل إلى القصيف بتغيير درجة الحرارة (خفضها إلى مدى معين من درجات الحرارة يسمى مدى درجات الحرارة الانتقالي شكل (439-1) والذي عنده ينخفض مقدار الشغل اللازم للكسر بالصدمة بشكل ملحوظ ويجرى هذا الاختبار



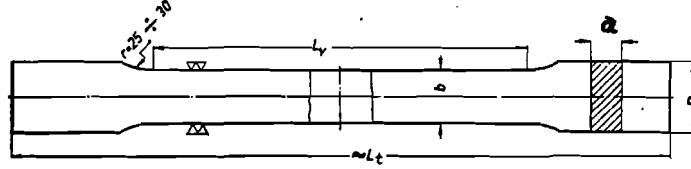
بطريقة اختبار شاربي Charpy أو إزود Izod وعلى ضوء نتيجة تحديد نطاق درجات الحرارة هذا يمكن تحديد درجات الحرارة التي يمكن استخدام الوصلة فوقها دون خشية حدوث كسر قصيف وهو الأمر الذي يجب مراعاته في تصميم السفن والخزانات والجسمور الحديدية وباقي المنشآت المشابهة . شكل (1-440) .

كما يهمننا في الخواص الميكانيكية لوصلات اللحام خواص الكلال Fatigue (التعب) أى مقاومة الوصلة للإجهادات الديناميكية المتكررة سواء كانت في اتجاه الشد المطلق أو الضغط المطلق أو التردد دورياً بين الشد والضغط بصورة متماثلة أو غير متماثلة . وقد يجرى الاختبار لتعيين حد الصمود Endurance limit وهو الجهد الذى يطبق ويتكرر ذهاباً وإياباً لعدد غير محدود من الدورات دون حدوث الكسر فى عينة قياسية لوصلة اللحام . وقد يحتاج الأمر فى بعض الأحيان تعيين خواص الزحف تحت تأثير درجات حرارة معينة تحاكي ظروف الاستخدام مثلما يحدث فى أوعية الضغط والمراجل وأنباب نقل البخار وريش التربينات .

ويجب أن لا يغيب عن الذهن فى هذا المجال أن كل هذه الاختبارات الميكانيكية ما هى إلا محاولات اصطناعية لتعيين خواص بالتحليل والمحاكاة لظروف الاستخدام والتطبيق فى حقيقتها لا تغنى عن تقييم أداء الوصلة على الطبيعة فى ظروف الاستخدام مجتمعة ومدى صمودها لهذه الظروف .

وعلى هذا الأساس فإنه عند ابتكار طريقة لحام جديدة مثل اللحام بالهيدروجين الذرى أو الإشعاع الإلكتروني أو أشعة الليزر على سبيل المثال فإن التجارب تبدأ على المستوى المعملى لتقدير الخواص الفيزيائية المختلفة (الميكانيكية - المتالوجية - الحرارية - التأكل وغيرها من الخواص) وكذلك تقدير حدود الاستخدام ثم تنتقل التجارب إلى المستوى الحقلى فى المصانع التى يهملها استخدام هذه الطرق المستحدثة وتقييم نتائج التجارب على المواد والمنتجات المختلفة والتعرض لظروف البيئة الحقيقية ثم تجرى الدراسة الاقتصادية

لتقييم جدوى الاستخدام اقتصاديا ثم يبدأ اختيار المعدات المناسبة للطريقة المبتكرة . ويستخدم في هذا المجال العديد من الاختبارات تبدأ بأبعاد عينات من الألواح الملحومة شكل (1 - 442) وقد

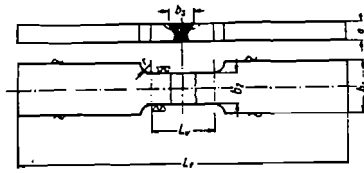


| a | B | L_t | b | L |
|--------|----|-------|----|-----|
| < 5 | 28 | 230 | 20 | 120 |
| 5 .. 8 | 33 | 300 | 25 | 170 |
| > 8 | 40 | 350 | 30 | 200 |

أبعاد العينات للمعادن الخفيفة

شكل (1-442)

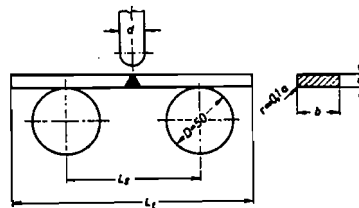
يفحص اللوح نفسه بالأشعة السينية قبل قطع العينات منه للتأكد من سلامته وخلوه من العيوب وقد يستغنى عن هذا الفحص . وتقطع هذه العينات مستهدفة الاتجاه الطولي والاتجاه العرضي بالنسبة للحام وكذلك للثنى لوجه أو لجذر اللحام والثنى الحر . وفي العينة الأسطوانية التي تحدد خواص الشد لد رزة اللحام ككل يوحد قطرها القياسى بمقدار 12 , 83 مليمتر ما لم يكن سمك اللوح صغيرا فيمكن اختيار أقطار أخرى مناسبة . وهناك العينات الأخرى التي تتعرض لاختبار الثنى وتتبع المواصفات الألمانية رقم Din 50120 , Din 50123 شكل (1 - 443) بالنسبة لاختبار الشد .



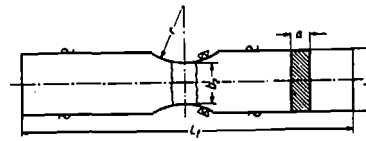
| α | < 10 | $\frac{10}{20}$ | $\frac{20}{35}$ | > 35 |
|----------|--------|-----------------|-----------------|--------|
| $L_1 =$ | 250 | 250 | 300 | 350 |
| L_2 | | | | |
| b_1 | 20 | 30 | 35 | 40 |
| b_2 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| r | 10 | 15 | 20 | 20 |

اختبار الشد للوصلة

شكل (a 1-443)



شكل (2-443)

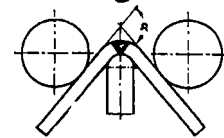


| α | ≤ 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
|----------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 6 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| t_1 | 200 | 200 | 200 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| b_1 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 |
| b_2 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 40 |
| r | 24 | | | 40 | | | 60 | |

اختبار د رزة اللحم

شکل (443-1 b)

ولعينات الشنى

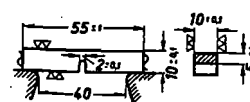
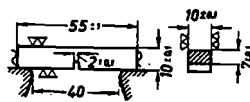


| α | $\frac{5}{10}$ | $\frac{10}{15}$ | $\frac{15}{20}$ | $\frac{20}{25}$ | $\frac{25}{30}$ |
|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $d \sim 2\alpha$ | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| L_1 | 100 | 130 | 150 | 180 | 200 |
| L_2 | 250 | 250 | 250 | 300 | 300 |

شکل (3 - 443)

Notch

ولعينات الصدفة مع الحز

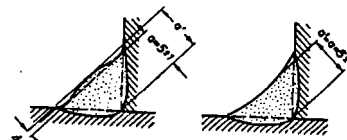
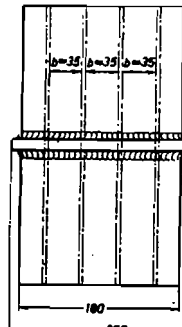
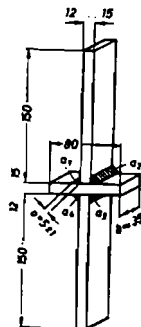


شكل (3-443)

شکل (4 - 443)

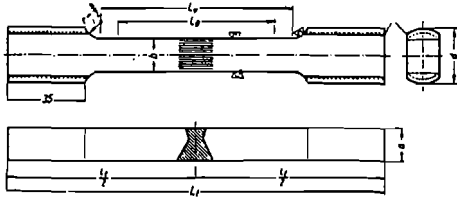
Angle

ولحام الزاوية



شکل (4 - 443)

أما اختبار الزحف فيكون DIN 50128 شكل (444 - 1)

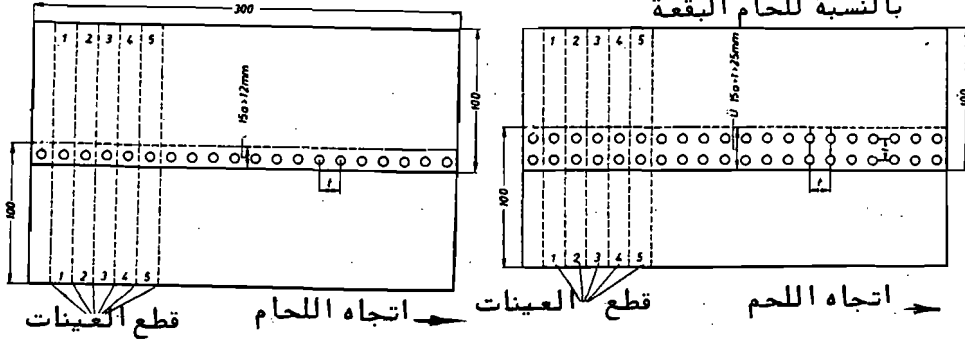


| اللولب | L_0 | L_g | F | b | a |
|--------|-------|-------|-----|-----|-----|
| M 24 | 155 | 65 | 90 | 15 | 6 |
| | 160 | 70 | 105 | | 7 |
| | 160 | 70 | 120 | | 8 |
| | 165 | 75 | 135 | | 9 |
| | 170 | 80 | 150 | | 10 |
| | 175 | 85 | 180 | | 12 |
| | 180 | 90 | 210 | | 14 |
| M 30 | 190 | 100 | 256 | 16 | 16 |
| M 30 | 200 | 110 | 324 | 18 | 18 |
| M 38 | 215 | 125 | 400 | 20 | 20 |

شكل (444-1)

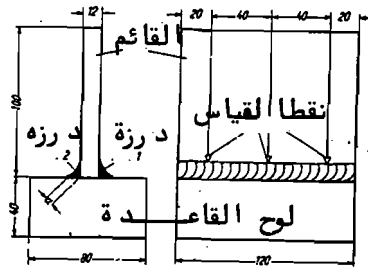
وبالنسبة لاختبار القص فتتبع المواصفات 50124 شكل (444-2)

بالنسبة للحام البقعة



شكل (444-2)

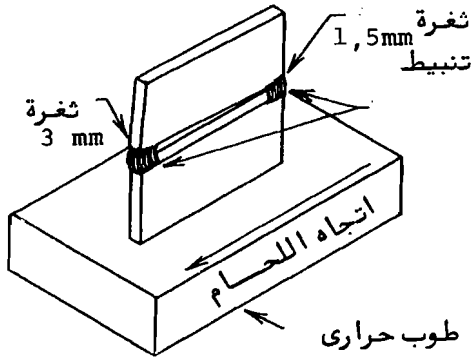
وتتبع المواصفات DIN 50129 شكل (444 - 3) لاختبار مقاومة تكون الشروخ في مواد الحشو للحام الصهر



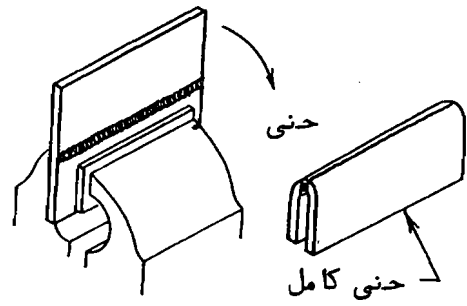
شكل (444-3)

الاختبارات الميكانيكية التكنولوجية :

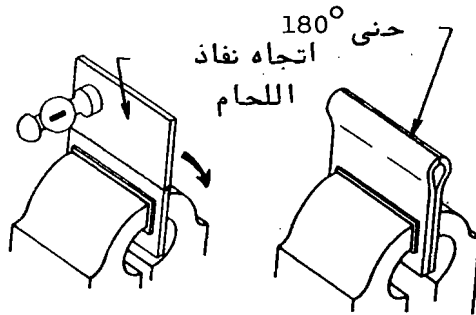
تهدف هذه الاختبارات الى سرعة اكتشاف سلامة الوصلات وتحملها لاجهادات الشني العنيفة وهي تجرى عادة في الورشة وفي موقع اللحام . وتوضح الأشكال التالية (1 , 2 , 3 , 4 - 445) هذه الاختبارات والتي تعتمد أساسا على حنى الوصلات المختلفة بربطها على ملزمة (منجلة) وحنئها بالطرق .



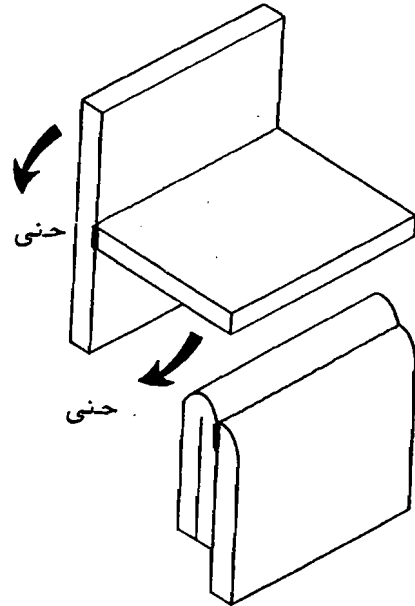
شكل (445-1)



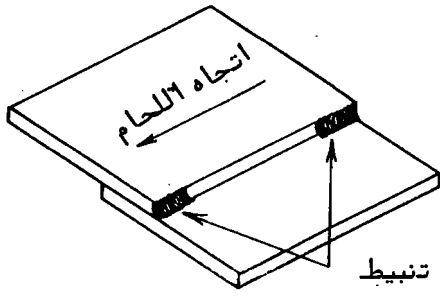
شكل (445-2)



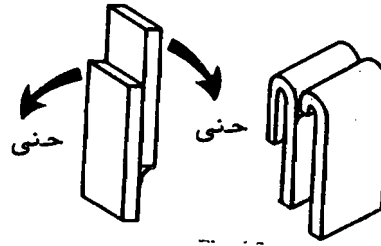
شكل (445-3)



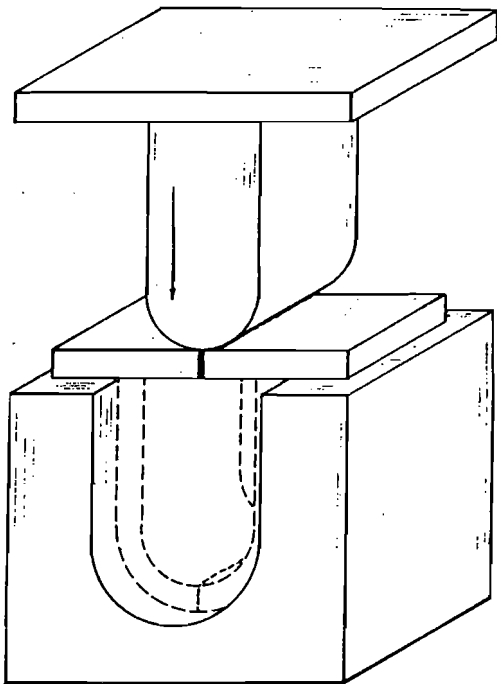
شكل (445-4)



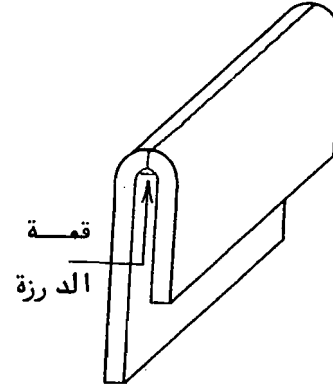
شكل (446-1)



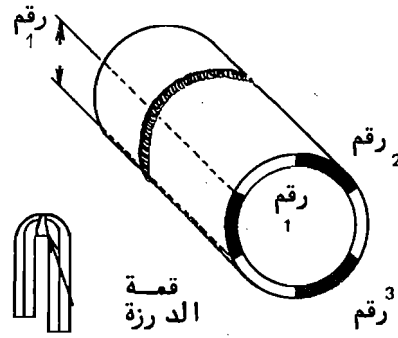
شكل (446-2)



شكل (446-3)



(446-4)



شكل (446-5)

٢- اختبارات التآكل Corrosion test :

وتجرى هذه الاختبارات نوعياً بمعنى أنه يجب تعريض عينات وصلات اللحام لبيئة مشابهة لما ستتعرض له عند الاستخدام وتقييم مدى مقاومتها لفعل البيئة ثم اتخاذ الإجراءات اللازمة للوقاية أو للحماية من مؤثرات التآكل أو تعديل مواد الوصلة والحشو لملاءمة الظروف المهاجمة .

ثانياً : الاختبارات غير المتلفة Non-Destructive Tests

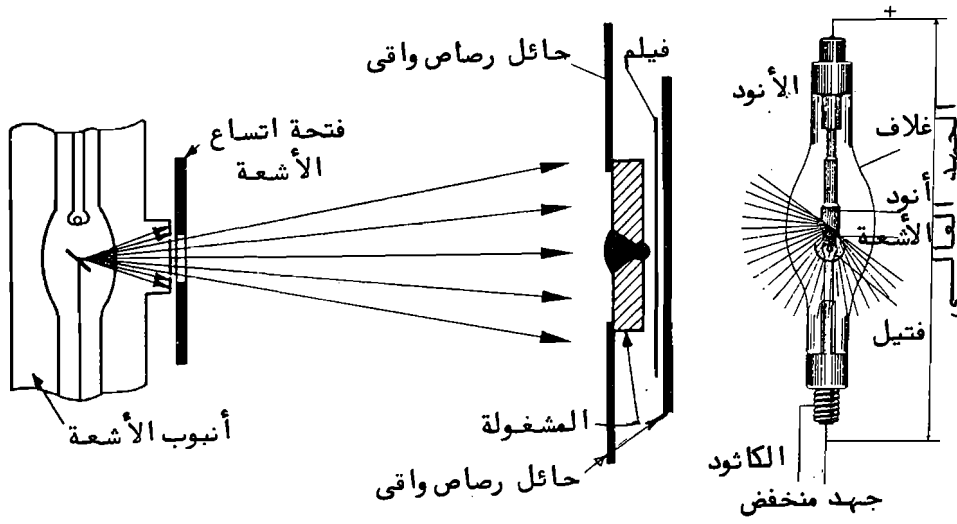
تجرى هذه الاختبارات على الوصلات دون إتلاف المشغولات بالقطع أو بالكسر أو التشويه وهي تجرى عادة على الأجزاء الحقيقية فى مواقع وصلات اللحام وقد تشمل هذه الاختبارات كل الأجزاء الملحومة إذا كان عامل الأمان يتطلب ذلك مثلما يحدث فى صناعة الطائرات أو أى منتجات تتعرض فيها حياة البشر للخطر إذا حدث إخفاق أو تلف للوصلات وقد يقتصر الأمر على إجراء الاختبارات فى عدد اختياري من المواقع أو المشغولات حسب أهمية الجزء أو موقع اللحام به . وأهم هذه الاختبارات هى الأشعة السينية X - Ray والمسحوق المغنطيسى - والموجات الصوتية فوق حد السمع والسوائل النافذة .

الأشعة السينية X-Ray Radiography :

تتصف الأشعة السينية بفاذيتها العميقة فى المواد المختلفة وهى تُستخدَمُ بتسليطها على الجزء أو الوصلة المراد فحصه واستقبال ظل الأشعة من الجهة المقابلة أى الأشعة النافذة استقبالها إما على شاشة فلورسنتية أو لوح حساس للضوء لتصوير تباينات شدة الأشعة حسب سمك العينة ووجود أجسام أو مواد غريبة أو عيوب مثل الشروخ وتكرر العملية فى الاتجاهات

الثلاثة الرئيسية (المساقط الثلاثة) لتحديد موقع العيب ويتم تقييم صور الأشعة باستخدام نماذج نمطية للعيوب المختلفة والمألوفة في عمليات اللحام المختلفة وتعد هذه الصور النمطية بعض الجمعيات المتخصصة مثل International Institute Of Welding وشكل (1 - 443) إحدى هذه الصور وفي إطارها أدرجت كل العيوب المحتملة ويثقب ثقب أمام العيب المناظر للصورة .

ويكون مصدر الأشعة المستخدمة إما من أنبوبة أشعة حسب المواصفات الألمانية DIN 54113 باستخدام الجهد العالي من 60 KV حتى 300 KV أو قد يستخدم مصدر أشعة جاما (γ) من أنبوبة كوبلت 60 حسب المواصفات DIN 54111 شكل (1-448)



شكل (1 - 448)

| THICKNESS | | MATERIAL | | WELDING PROCESS | | WELD TYPE | | Weld position | | TYPE OF DISCONTINUITY | |
|-----------|---------------|----------|-----------|-----------------|--------------------|-----------|------|---------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|
| 1 | No screens | 1 | Steel | 1 | Submerged arc | 1 | Butt | 1 | Downhand | 1 | No defects |
| 2 | Lead screens | 2 | Metallurg | 2 | Shielded metal arc | 2 | Butt | 2 | Horizontal-vertical | 2 | Porosity |
| 3 | H. D. screens | 3 | Metallurg | 3 | Shielded metal arc | 3 | Butt | 3 | Vertical | 3 | Worm holes (pipes) |
| 4 | H. S. screens | 4 | Metallurg | 4 | Shielded metal arc | 4 | Butt | 4 | Overhead | 4 | Of any shape, in any direction |
| 5 | ≤ 150 kV. | 5 | Metallurg | 5 | Shielded metal arc | 5 | Butt | 5 | | 5 | Slag lines |
| 6 | 150-250 kV. | 6 | Metallurg | 6 | Shielded metal arc | 6 | Butt | 6 | | 6 | Weaving faults |
| 7 | | 7 | Metallurg | 7 | Shielded metal arc | 7 | Butt | 7 | | 7 | Faults from bad chipping |
| 8 | | 8 | Metallurg | 8 | Shielded metal arc | 8 | Butt | 8 | | 8 | Faults of electrode change |
| 9 | | 9 | Metallurg | 9 | Shielded metal arc | 9 | Butt | 9 | | 9 | Faults of junction |
| 10 | | 10 | Metallurg | 10 | Shielded metal arc | 10 | Butt | 10 | | 10 | Lack of fusion |
| 11 | | 11 | Metallurg | 11 | Shielded metal arc | 11 | Butt | 11 | | 11 | Incomplete penetration |
| 12 | | 12 | Metallurg | 12 | Shielded metal arc | 12 | Butt | 12 | | 12 | Long cracks |
| 13 | | 13 | Metallurg | 13 | Shielded metal arc | 13 | Butt | 13 | | 13 | Transverse cracks |
| 14 | | 14 | Metallurg | 14 | Shielded metal arc | 14 | Butt | 14 | | 14 | Undercut |
| 15 | | 15 | Metallurg | 15 | Shielded metal arc | 15 | Butt | 15 | | 15 | Shrinkage cavities |
| 16 | | 16 | Metallurg | 16 | Shielded metal arc | 16 | Butt | 16 | | 16 | |
| 17 | | 17 | Metallurg | 17 | Shielded metal arc | 17 | Butt | 17 | | 17 | |
| 18 | | 18 | Metallurg | 18 | Shielded metal arc | 18 | Butt | 18 | | 18 | |
| 19 | | 19 | Metallurg | 19 | Shielded metal arc | 19 | Butt | 19 | | 19 | |
| 20 | | 20 | Metallurg | 20 | Shielded metal arc | 20 | Butt | 20 | | 20 | |
| 21 | | 21 | Metallurg | 21 | Shielded metal arc | 21 | Butt | 21 | | 21 | |

| RADIOGRAPHIC METHODS | | GAMMAGRAPHY | |
|----------------------|---------------|-------------|--|
| 1 | No screens | 1 | |
| 2 | Lead screens | 2 | |
| 3 | H. D. screens | 3 | |
| 4 | H. S. screens | 4 | |
| 5 | ≤ 150 kV. | 5 | |
| 6 | 150-250 kV. | 6 | |
| 7 | | 7 | |
| 8 | | 8 | |
| 9 | | 9 | |
| 10 | | 10 | |
| 11 | | 11 | |
| 12 | | 12 | |
| 13 | | 13 | |
| 14 | | 14 | |
| 15 | | 15 | |
| 16 | | 16 | |
| 17 | | 17 | |
| 18 | | 18 | |
| 19 | | 19 | |
| 20 | | 20 | |
| 21 | | 21 | |

| DEGREE | |
|--------|-------|
| 1 | Black |
| 2 | Blue |
| 3 | Green |
| 4 | Brown |
| 5 | Red |

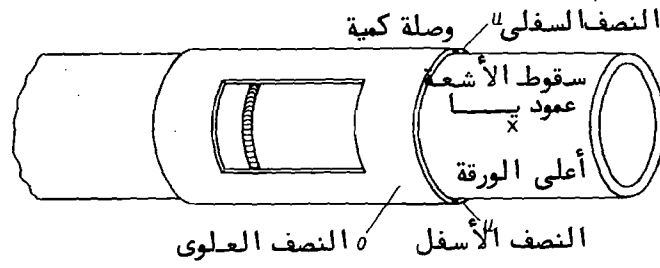
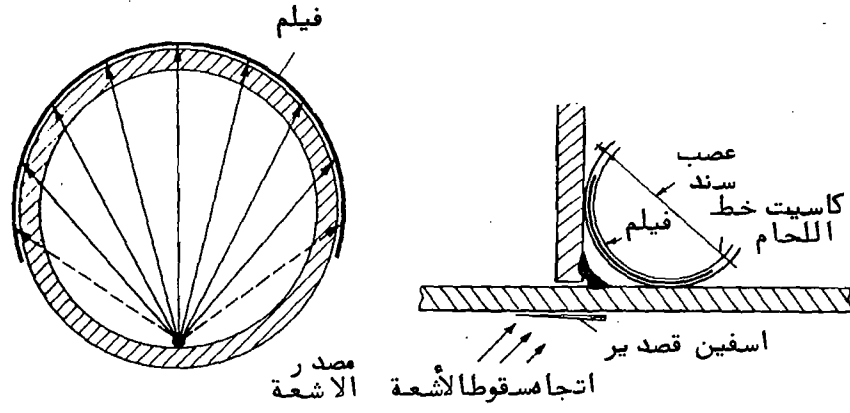
| No. 79 | |
|--------|--------|
| 1 | Sweden |
| 2 | 12 |

EUROTEST, International Scientific Association, Brussels - Belgium

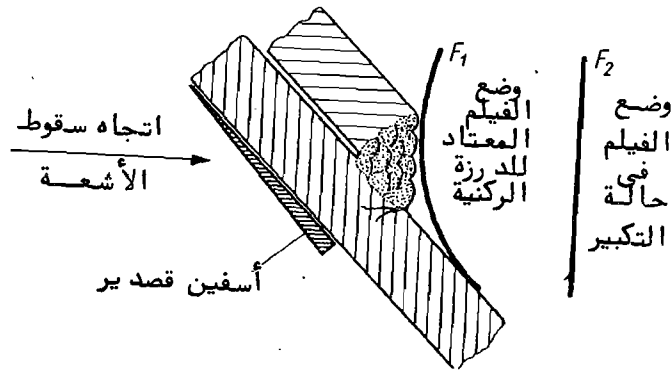
INTERNATIONAL INSTITUTE OF WELDING Commission V

Issued by

This collection not an acceptance standard for use by any body. It is a collection of radiographs as regards the nature and amount of defects shown.



فحص رزة لحام في أنبوب

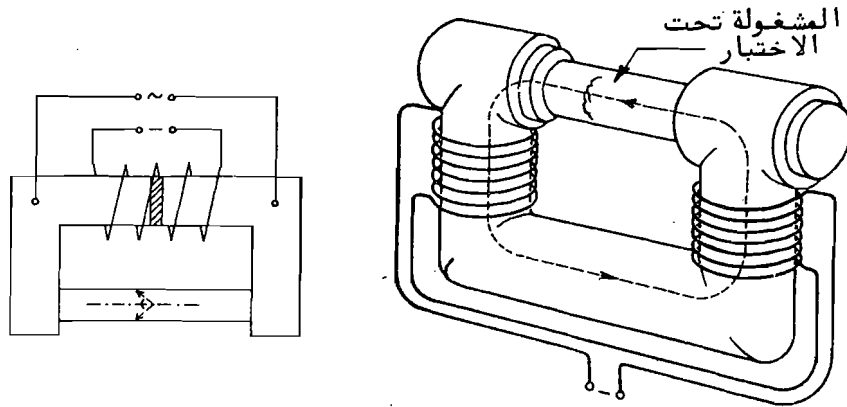


شكل (1 - 450)

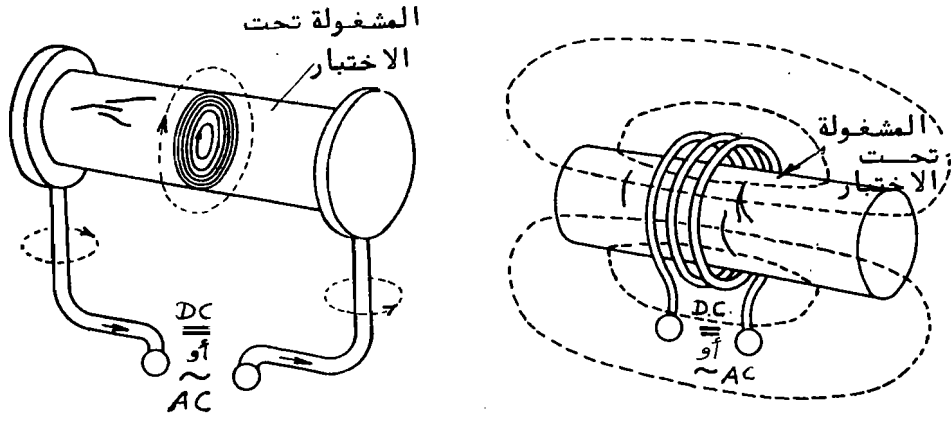
الاختبار بالمسحوق المغنطيسي Magnaflux Test :

تهدف هذه الطريقة إلى الكشف عن العيوب غير السطحية Macroscopic Defects السطحية أو التي تقع بالقرب من السطح وذلك في المواد المغنطيسية وذلك بوضعها في مجال مغنطيسي وتقصى مسار الخطوط المغنطيسية في الجزء تحت الفحص باستخدام مسحوق حديد أو أكسيد حديد عادي أو فلورسنتي إما جافاً أو معلقاً في ماء أو في زيت معدني عديم الرائحة وذو لزوجة منخفضة .

ويولد المجال المغنطيسي إما باستخدام مغنطيس دائم أو بملف تيار مستمر أو تيار متردد أو بتيار صادم كل ذلك عن طريق مباشر في مغنطيس إضافي وليس في المشغولة تحت الفحص أو عن طريق توليد المجال المغنطيسي في المشغولة ذاتها بملف به تيار مستمر أو بتيار متردد أو تيار صادم وقد يولد المجال من ناحية أخرى بإمرار التيار الكهربائي المستمر أو المتردد أو الصادم مباشرة أو غير مباشر أو بالتأثير الحثي أو بخليط من هذه الأنواع . ويوضح شكل (1-451, 1-452) رسماً تخطيطياً لطرق توليد المجال المغنطيسي المذكورة .

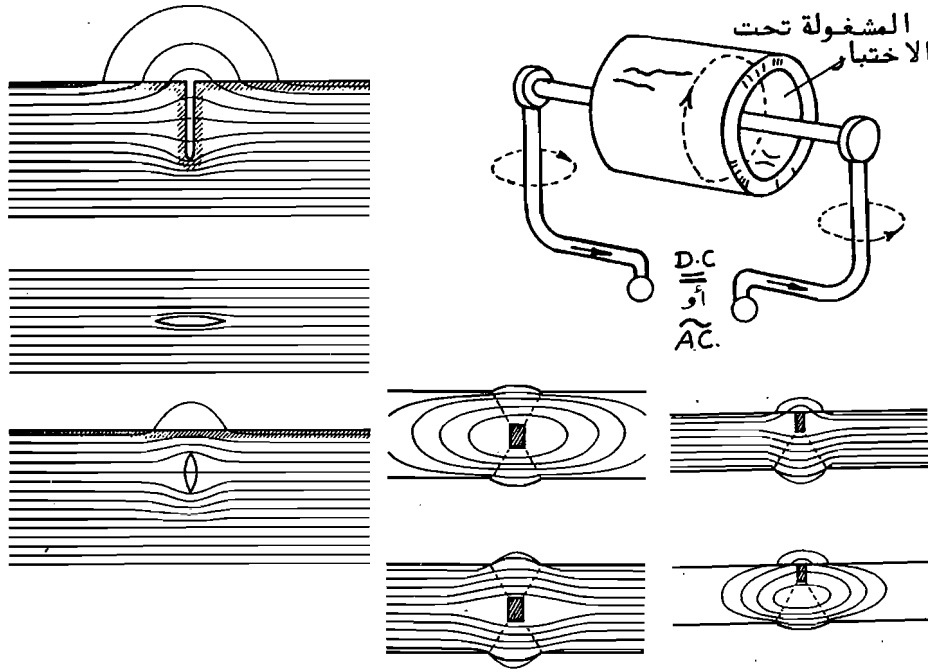


شكل (1 - 451)

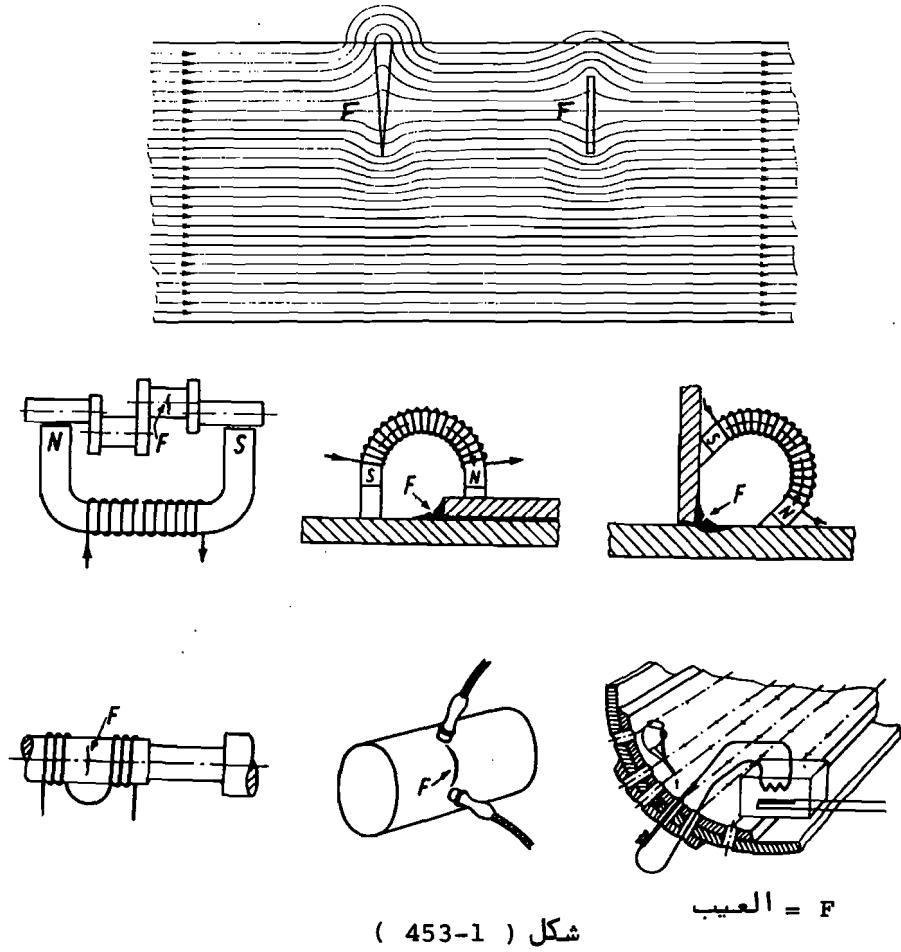


شكل (452-1)

كما يوضح شكل (452-2, 453-1) أوضاع المشغولة تحت الفحص ومظهر الخطوط المغناطيسية في الأوضاع المختلفة .



شكل (452-2)



الاختبار بالموجات الصوتية فوق حد السمع Ultrasonic Test :

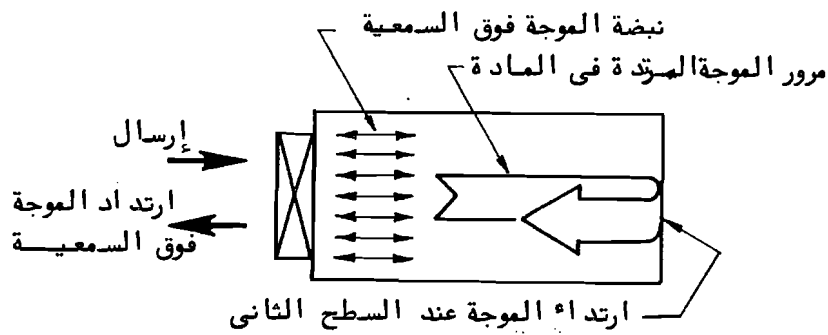
درجَ القدماء على اختبار سلامة الأواني والأوعية وغيرها من المنتجات بالطرق عليها والاستماع إلى طنين الصوت فإن كان الطنين واضحاً أنبأ ذلك بسلامة المنتج وإن كان مكتوماً دلّ على وجود عيب في شكل شـرـخ أو فجوة أو أي محتويات أو محشورات داخل مادة الجزء .

وقد طُوِّرَ مبدأ الاختبار بالموجات الصوتية فيما بعد باستخدام موجات صوتية ذات تردد مرتفع يتراوح بين 0,5 ، 20 kHz كيلو هرتس وهى ترددات لا تسجيب لها طيلة الأذن أى لا تسمع إنما يمكن استقبال صداها (الموجة المرتدة فى المشغولة تحسنت الاختبار) على جهاز مبين الذبذبات Oscilloscope ويكمن السر فى اختيار الموجات الصوتية عالية التردد (طول موجة قصير) فإنه كلما زاد التردد كلما زادت المقدرة على إيضاح العيوب الدقيقة إذ يرتبط حجم العيب بطول الموجه ويجب أن يزيد على نصف طول الموجة (λ) والذى يرتبط بسرعة الصوت () فى المادة المختبرة والتردد (f)

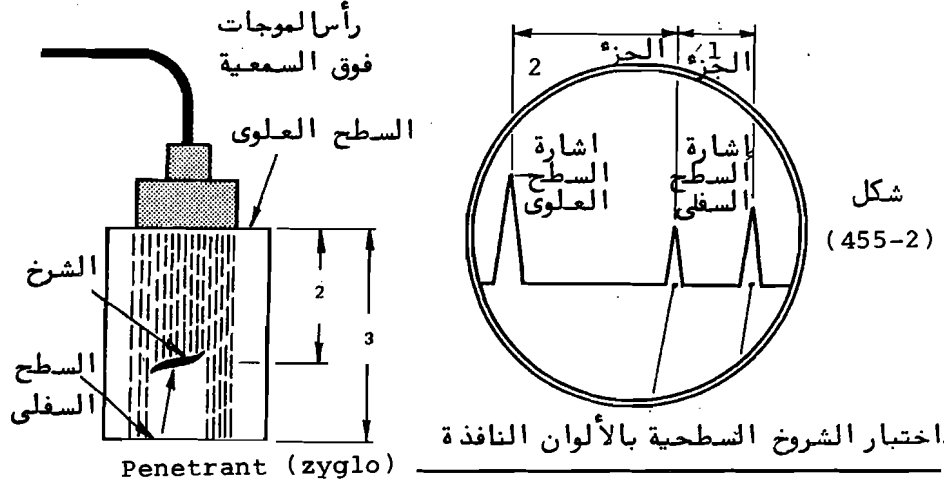
$$c = \lambda \cdot f$$

وتبلغ سرعة الصوت فى الصلب 6000 متر/ ثانية .

ويُستخدَمُ التأثير البيزوكهربائى Piezoelectric Effect فى توليد الموجات الصوتية القصيرة التى توصل برأس إرسال الموجات وتلامس سطح المشغولة تحت الاختبار ويجب أن تكون الملامسة والاتصال بين سطح رأس الإرسال و سطح المشغولة اتصالاً محكماً ويستخدم فى هذا السبيل وسيط إحكام مثل زيت التزليق وتستقبل الموجات المرتدة فى المشغولة إما برأس استقبال أخرى أو بنفس رأس الإرسال وتسجل الموجة المرسله والموجة المرتدة على شاشة مبين الذبذبات وشكل (1 - 454) يوضح حالات تقييم الموجات الصوتية الأولى فى جزء سليم حيث تظهر الموجة المرتدة على بعد من الموجة المرسله يساوى ضعف عمق المشغولة والثانية سجلت موجة بينية تدل على وجود عيب (شرح) بين الموجتين المرسله والمتردة أما الثالثة فهى لعيب (شرح) كبير يمنع ظهور موجة مرتدة . كما يبين شكل (2-454) اختبار عيوب اللحام برأس إرسال صوتية مائلة لتوجيه الموجة الصوتية لتكشف العيب فى درزة اللحام



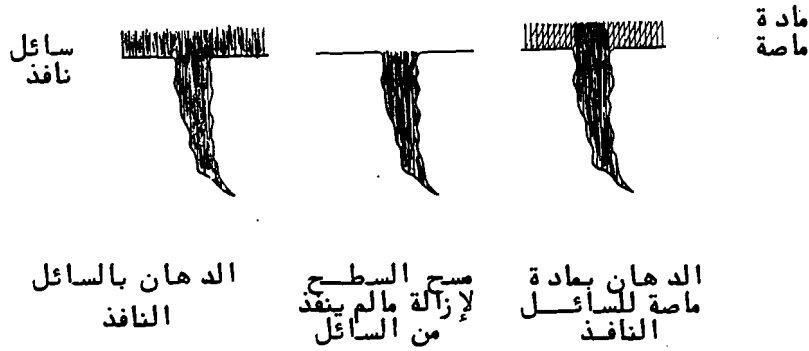
شكل (455-1)



يُقتصر استخدام هذه الطريقة على الكشف عن الشروخ السطحية في المشغولات أو اللحامات ويستخدم فيها مبدأ نفاذ السوائل منخفضة التوتر السطحي (مثل الكيروسين) بالخاصة الشعرية Capillarity ويمكن أن يكون للسائل المتغلغل خواص فلورسنتية ليسهل الكشف عنه وتتخلص الطريقة في الخطوات التالية :

- تغسل المشغولات جيداً لإزالة التلوثات والشحوم باستخدام بخار

- مزيل الشحوم (بركلواثيلين) ثم تترك لتبرد .
- تغمر المشغولات فى السائل الفلورسنتى المتغلغل لنحو 20 دقيقة ثم ترفع وتترك برهة ليتساقط السائل الزائد .
- يُزال السائل المتغلغل من سطح المشغولات بالغسيل بالماء ثم التجفيف فى الهواء الساخن .
- تعرض المشغولات لتيار هواء مغبر بمسحوق ماص ولن يلتصق هــذا المسحوق بسطح المشغولة إلا فى المواقع التى بها شروخ التى تغلغل فيها السائل الفلورسنتى وتفحص الأسطح للكشف عن المواقع التى تغلغل فيها السائل (الشروخ) بالخاصة الشعرية والتى غطّاها المسحوق وتفحص بمصباح للأشعة فوق البنفسجية لتسهيل الرؤية . ويمكن تبسيط هذه الطريقة باستخدام الكيروسين العادى بعد تلوينه بلون أحمر أو أزرق كسائل تغلغل واستخدام سائل طباشيرى (طباشير معلق فى ماء) تُدْهَنُ به الأسطح بعد انتهاء عملية التغلغل بالكيروسين الملون وإزالة السائل الزائد المبلل للسطح بالغسيل والتجفيف فتظهر مواقع الشروخ بلون الكيروسين فى مواقعها وحجمها . شكل (1-456) .



شكل (1-456)

تعدُّ عينات وصلات اللحام للفحص المجهرى بمعمل مقطع عمودى على اتجاه خط اللحام . ثم تجليخ سطح المقطع بالصنفرة التدريجية فى دقة حبيباتها ويتم الصقل حتى درجة صنفرة (600) ثم تلمع على الجوخ المبلل بمسحوق الألومينا المعلق فى ماء مقطر . ثم يجرى نمشها (إظهارها Etching) بحامض مخفف لإظهار الأصناف المختلفة وجعلها متباينة المظهر وكذلك إظهار حدود الحبيبات كما هو الحال فى إظهار العينات الفلزية المختلفة استعدادا لفحصها مجهرىا . يختار محللول النمش حسب مادة الوصلة وتكون عادة 2 إلى 3% حامض نيتريك فى ماء مقطر ويتم الغسيل بعد ذلك بالكحول الإيثيلي .

- منطقة الانصهار
- المنطقة المتأثرة بالحرارة .
- المعدن الأصلي المالحوم .

ويمكن دراسة هذه المناطق إما بالنظر بالعين المجردة أو بالتكبير باستخدام المجهر .

أولا : منطقة الانصهار :
~~~~~

شكل ( 457-1 )

وفيهما يجري الكشف عن :

### 1- الشوائب الظاهرة والخبث - ويمكن أن يظهر في حالات

محاولة ملء فجوة اللحم على عدة مراحل ( مسارات = خطوط ) وفيها يجب إزالة كل الخبث الذى يطفو على سطح الخط قبل البدء بلحام الخط التالى . وعند إهمال ذلك فإن فجوة اللحم ستحتويه ويؤدى ذلك إلى رداءة جودة الوصلة واحتواء هذه المنطقة على هذا الخبث المتخلف .

## 2 - الفقائيع Blowholes : =====

وتحدث من إجراء تصاعد الغازات فى بحيرة المنصهر أثناء تجمدها ( تقل قابلية ذوبانها بانخفاض درجة الحرارة ) وهذه الغازات يكون مصدرها الرطوبة التى قد توجد بكسوة إلكترودات اللحم ( الكسوة مكونة من أملاح هيجروسكوبية شره الاتحاد بالماء ) . أو قد يكون السبب طول القوس الكهربائى أثناء اللحام .

3 - عدم انصهار جذر ( قاع ) اللحم بسبب سوء تكنولوجية عملية اللحام بعدم اختراق قوس التسخين فجوة اللحم إلى القاع أو عدم تحضير شطب طرفى الوصلة بالميل والاتساع الكافيين .

## 4 - ظهور شروخ فى اللحم إما واضحة أو دقيقة : =====

نتيجة للإجهادات الحرارية أو اختلاف الخواص الحرارية للأصناف المتكونة أو المترسبة ( معامل الانكماش ) .

## 5 - حجم وشكل الحبيبات : =====

وهى تعطى إيضاحاً لطريقة تجمد بركة المنصهر . فكلما كان معدل التبريد بطيئاً فى القطاعات السميكة كلما كانت البنية شجرية يمكن أن تحتوى بين فروعها فجوات تقلص ( أى مسام ) أما إذا كان المقطع رقيقاً كلما كانت الحبيبات دقيقة فى حجمها .

## 6 - شكل البنية يتوقف على طريقة اللحام :

=====

وفيها يظهر عدد المسارات وشكل كل مسار في لحام الأكسجى أستلين حيث يكون معدل التسخين بطيئا فتنتشر الحرارة وتمتد المنطقة المتأثرة بالحرارة اتساعا على عكس اللحام بالقوس الكهربائى الذى يتميز بعنف وتغلغل أثره الحرارى .

ثانيا : المنطقة المحيطة بالبركة المنصهرة ( بمنطقة الانصهار) :

Heat Affected Zone HAZ

وفيها يجرى الكشف عن :

- 1 - خطوط الانزلاق : فى المنطقة التى تعرضت لانفعالات Strains خارج حد المرونة فتشكلت وتركت أثر خطوط الانزلاق على مستويات التشكيل .
- 2 - مناطق التشكيل على الساخن والتشكيل على البارد .
- 3 - عرض المنطقة التى تعرضت لتأثير الحرارة ( منطقة الانتقال من بركة المنصهر حتى المعدن الأصلى ) .

ثالثا : نقط أو حدود المعدن الأصلى الذى لم يتأثر بفعل حرارة اللحام :

أمثلة :

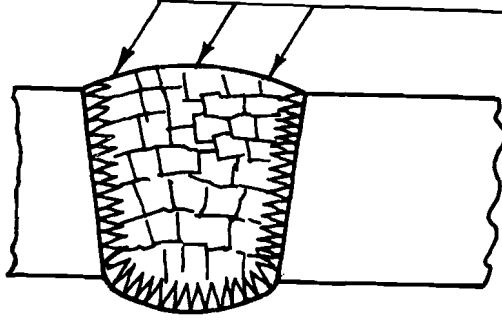
=====

حالة الصلب الفقير فى الكربون Low Carbon St. بفرض ظروف لحام ثابتة وإجراء اللحام على مسار واحد one bead وأن سمك اللوح الملحوم 10 مم ( مدفن على البارد ) .

أولا : البنية المجهرية لمنطقة الانصهار .

عند ما يجرى اللحام بلمهيب الأكسي أستلين  
=====

يلاحظ بقاء البركة المنصهرة فى حالة الانصهار لفترة طويلة نسبية ولذلك تكون الحبيبات غليظة نامية وقد تكون شجيرية واتجاهاتها متباينة . وعند نهاية حرف اللحام توجه الحبيبات بوضوح فى اتجاه تسرب الحرارة .



فى هذه المنطقة يكون معدل التبريد نحو 350 إلى 400 °م / دقيقة ويقل فقد الحرارة منها عن المناطق المجاورة

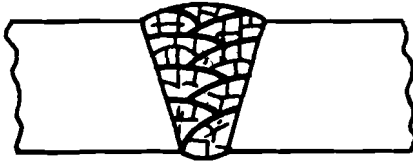
شكل ( 460-1 )

عند استخدام القوس الكهربائى  
=====

يجرى اللحام على عدة خطوط منها صغيرة فى حجمه فيتجمد بسرعة وبالتالي تكون البنية دقيقة ( حبيبات صغيرة ) وموجهة وإبرية بعض الشيء ، ويقوم التسخين الناشئ أثناء لحام الخط الواحد بتخمير الخط الذى سبقه وذلك تتصف بنية الخطوط الداخلية فى اللحام بدقتها وتكورها equi - axed ومتانتها .

ثانيا : البنية المجهرية للمنطقة المتأثرة بالحرارة

وهذه المنطقة يمكن تقسيمها إلى المناطق التالية :



- 1 - المناطق المفرطة فى تسخينها  
Overheated Zone
- 2 - المنطقة دقيقة الحبيبات ملدنة  
Normalised
- 3 - المنطقة التى ارتفعت درجة

شكل ( 460-2 )

حرارتها فى النطاق بين  $A_1$  ,  $A_3$  فى مخطط الحديد والكربون .

4 - المنطقة الملدنة تلديننا شاملا Soft annealed

5 - منطقة اعادة التبلور Recrystallised

6 - منطقة لم تتأثر متالورجيا .

1 - المنطقة المفرطة فى تسخينها :

فى لحام الأكسى أستلين - يلاحظ أن بها حبيبات غليظة مع تكوين مركب قيد مانز شتيتشنس Widmannsstatischens القصيف ويصغر حجم الحبيبات بالابتعاد عن محور اللحام .

فى اللحام بالقوس الكهربائى :

=====

تتصف هذه المنطقة بضيقها ودقة حبيباتها بتأثير الحرارة الناشئة من تعدد التسخين فى مراحل لحام الخطوط المتعاقبة . ( الحبيبات الدقيقة تعطى متانة وخواص ميكانيكية طيبة بعكس الغليظة ) . ويمكن تحويل الحبيبات الغليظة فى المناطق المختلفة فى أى لحام بإجراء عملية المعادلة الحرارية

Normalizing

2 - المنطقة دقيقة الحبيبات :

وهى المنطقة التى تعرضت للتدخين أو المعادلة الحرارية أثناء دورة التسخين فى عملية اللحام إلى درجات بين 900 ، 1000 درجة مئوية .

3 - المنطقة التى سخنت إلى نطاق  $A_1$  -  $A_3$  فقط شكل ( 363-1 ) 723 - 900

وفىها يظهر البيرليت المخطط المعادل بدون تأثير واضح على حبيبات الفيريت .

#### 4- المناطق الأخرى :

تتوقف متانة المعدن الملحوم على خواصه قبل عملية اللحام فيما إذا كان مقسى ومراجع أو تم تلدينه أو تشكيله على البارد أو على الساخن . ولذلك فإن تسخين هذه المناطق دون الخط ( $723^{\circ}\text{C}$  م ) قد يؤدي إما إلى التلدين لإعادة التبلور أو لإزالة الإجهادات أو للمراجعة إذا كان المعدن سابق التقسية .

وبلاحظ بصفة عامة أن لحام القوس الكهربائي يؤدي إلى ضيق هذه المناطق مهما كان سمك المعدن الملحوم .

حالة الصلب المرتفع في نسبة الكربون ( القابل للتقسية )

Hardening Steel

يجب في هذه الحالة أن لا تؤثر الدورة الحرارية أثناء عملية اللحام على منطقة اللحام أو تسبب قساوتها وخاصة وأن هذا النوع حساس للتغير الحراري السريع وميله لتكوين المركب الصلب المرتنسي . ولذلك يجب العمل على تجنب تكوين المرتنسيات ومحاولة تكوين مركبات أكثر استقراراً منه مثل البيرلايت والفيرايت أو الباينايت . ولذلك يعتبر هذا النوع من الصلب ذي قابلية منخفضة للحام .

ولتجنب تكوين المرتنسيات يجب العمل على إبطاء معدلات التبريد أثناء اللحام بالطرق التالية :

التحكم في معدل إضافة الحرارة وتوسيع مداها لتخزينها .  
التحكم في تسرب الحرارة باستخدام سمك كبير أو برفـع درجة الحرارة .

أو باستخدام أشكال هندسية معينة أو بإضافة عناصر للتساك تمنع تكون المرتنسيات ومن الطرق المعروفة في لحام هذا

الصلب هو استخدام مبدأ التسخين الأولي الذي يسبق عملية اللحام Preheat للسبب الموضح سابقاً .

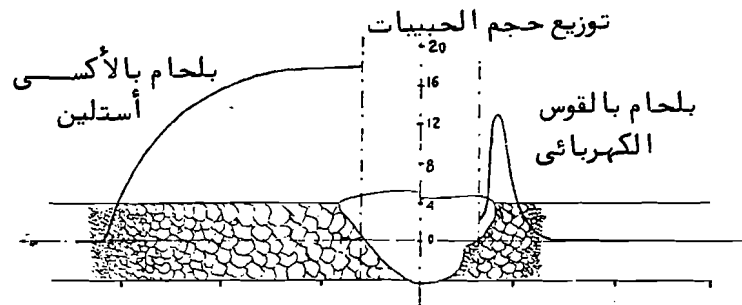
ظاهرة الترسيب في فجوة اللحام :

يحدث في بعض الأحوال ترسيب لبعض الأصناف غير المرغوب فيها لقصافتها على حدوث الحبيبات في المنطقة المتأثرة بارتفاع درجة الحرارة HAZ الأمر الذي يؤثر على الخواص الميكانيكية ( المتانة ) وخواص مقاومة التآكل .

Toughness - Corrosion Resistance

مثال ذلك عند لحام الصلب المقاوم للصدأ ( الأوستنيتي ) 18 % كروم + 8 % نيكل ) الذي يرسب كربيد الكروم بتأثير ارتفاع درجة الحرارة في المنطقة المذكورة . مما يقلل نسبة الكروم في المناطق المجاورة وبالتالي تقل المقاومة للتآكل . وهذه الظاهرة تسمى المنطقة المتلفة من اللحام distroyed والتي تظهر على مسافة معينة من منطقة اللحام حسب مدى الانحدار الحراري .

ولتجنب ذلك تضاف عناصر لهذا الصلب لتعمل على استقراره وعدم ترسيب كربيد الكروم منه مثل عناصر V , Al .



شكل ( 1 - 463 )

تم بحمد الله



References

- 1 - Welding Handbook  
Seventh Edition, Volume 1 - 5  
American Welding Society (AWS).
- 2 - Welding Inspection  
American Welding Society (AWS).
- 3 - Electroslag Welding  
by B.E. Paton  
American Welding Society (AWS).
- 4 - Soldering Manual  
American Welding Society (AWS).
- 5 - Welding Handbook  
Fifth Edition, Section 3 - 5  
American Welding Society (AWS).
- 6 - Welding Handbook  
Sixth Edition, Section 1, 2, 3A, 3B, 5  
American Welding Society (AWS).
- 7 - Non-Cutting Shaping,  
by F.Petrak  
Edition Leipzig.
- 8 - Welding Engineering  
by Prof.R.L. Agarwal and Prof.Tahil Manghnani  
Khanna Publishers, Delhi-India .

- 9 - Welders Guide  
by James E. Brumbaugh  
Theodore Audel Co. Indianapolis, Indiana.
- 10 - Electric Slag Welding  
by B. Paton  
MIR Publishers, Moscow.
- 11 - Electric Arc Welding Practice  
by L. Shebeko  
MIR Publishers, Moscow.
- 12 - Audels Welders Guide  
by Frank D. Graham  
Treasure House of Books, Bombay 1, India.
- 13 - Plasma - Arc Equipment  
by E. M. Esibian  
Mir Publishers, Moscow.
- 14 - Welding Skills and Practices  
by J.W.Giachion, W.Weeks and E. Brune  
American Technical Society (ATS), Chicago, Illinois.
- 15 - The Science and Practice of Welding  
by A. C. Davies  
Cambridge University Press, London-New York -  
Melbourne.

- 16 - The OXWelder's Handbook  
15th Edition  
The Linde Air Products Company, New York.
- 17 - The Metallurgy of Welding  
by Dr. D. Séférian  
Chapman and Hall, London.
- 18 - Welding Process Technology  
by P.T. Houldcroft  
Cambridge University Press, London-New York -  
Melbourne.
- 19 - Welding for Engineers  
by H. Udin, E. R. Funk and J. Wulff  
J.Wiley, New York and Chapman and Hall, London.
- 20 - Gas Welding and Cutting  
by D.Glizmanenko and G.Yevseyev  
Peace Publishers, Moscow.
- 21 - Grundlagen der Schweisstechnik  
Von Prof. Dr. R. Probst  
VEB VERLAG Technik Berlin.
- 22 - Leicht verständliche Werkstoffkunde für den  
Stahlschweisser  
von Karl Mrosko  
VEB Verlag Technik Berlin.

- 23 - Schweiss - und Schneidetechnik  
Herausgeber: Ing. Georg Herden  
VEB Carl Marhold Verlag, Halle (Saale).
  
- 24 - Fügen  
von H. Salcher und M. Feuerhak  
VEB Verlag Technik, Berlin .
  
- 25 - Materialprüfnormen für Metallische Werkstoffe  
DIN Taschenbuch 19  
Deutscher Normenausschuss (DNA) Berlin W 15 :
  
- 26 - Der Schutzgasschweisser, Teil I  
von H.Fischer und L.Baum  
Deutscher Verlag für Schweisstechnik GMBH,  
Düsseldorf.
  
- 27 - Fachkunde für Schweisser, Band I  
von Hans Endter  
VEB Verlag Technik Berlin .
  
- 28 - Die Verfahren der Schweisstechnik  
Deutscher Verlag für Schweisstechnik (DVS)  
GmbH,Düsseldorf.
  
- 29 - Grundlagen der Schweisstechnik - Löten  
VEB Verlag Technik Berlin .
  
- 30 - Die Gas - Schweissung  
von Felix Wuttke  
VEB Verlag Technik Berlin .

- 31 - Schützende Oberflächen durch Schweissen und  
Metallspritzen  
von H.Wirtz und H.Hess  
Deutscher Verlag f.Schweisstechnik (DVS) GmbH,  
Düsseldorf.
- 32 - Leitfaden für Lichtbogenschweisser  
von Verlag Technik Berlin.
- 33 - Grundlagen der Schweisstechnik-Sonderschweis-  
verfahren  
VEB Verlag Technik Berlin.
- 34 - Theorie der Schweissprozesse  
von Prof. G. I. Pogodin-Alexejew  
VEB Verlag Technik Berlin.
- 35 - Handbuch der Schweisstechnik  
Jürgen Ruge  
Springer-Verlag, Berlin.
- 36 - Grundlagen der Schweisstechnik - Gestaltung  
VEB Verlag Technik Berlin.
- 37 - Das Metallspritzverfahren  
von Eberhard Kretschmar  
VEB Carl Marhold Verlag, Halle (Saale).
- 38 - Schweissen, Schneiden und Löten von Metallen  
von K.K. Chrenow  
VEB Carl Marhold Verlag , Halle, (Saale).

- 39 - Schweissen nichtrostender Stähle  
von Dr.- Ing . F. W. Strassburg  
Deutscher Verlag F.Schweisstechnik (DVS)  
GmbH ,Düsseldorf.
  
- 40 - Handbuch der Löttechnik  
von Dr. - Ing. Erich Lüder  
Verlag Technik Berlin.
  
- 41 - Werkstattbücher - Das Löten  
von Dr.-Ing. R.von Linde  
Springer Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg.
  
- 42 - ZIS - Mitteilungen 8  
Zentralinstitut f.Schweisstechnik der DDR,  
Halle ( Saale ).
  
- 43 - Weichlote  
by Edmund R.Thews  
Metall-Verlag GmbH, Berlin-Grunewald.
  
- 44 - The Fundamentals of Gas Welding  
by Felix Wuttke  
Edition Leipzig.
  
- 45 - Der Gasschweisser  
by W. Marfels  
  
Deutscher Verlag für Schweisstechnik GmbH,  
Düsseldorf.

- 46 - Advanced Welding Processes  
by G. Nikolaev and N. Olshansky  
Mir Publishers, Moscow.

الوحدات الهندسية المختلفة وتحويلاتها  
ترتيب أبجدي بالانجليزية

$$\text{acres} = 43560 \text{ ft}^2 = 4046.85 \text{ m}^2 = 4840 \text{ y}^2.$$

$$\text{acre feet} = 7758.4 \text{ barrels} = 43560 \text{ ft}^3$$

$$\text{amperes} = 0.1 \text{ abamperes}$$

$$\text{ampere turns} = 1.2566 \text{ gilberts (magnetomotive force)}$$

$$\text{Angstroms} = 1 \times 10^{-8} \text{ cm} = 0.0001 \text{ microns.}$$

$$\text{are} = 100 \text{ m}^2 = 119.6 \text{ y}^2$$

$$\text{Atmosphere} = 1.0133 \text{ bars} = 76 \text{ cm Hg} = 760 \text{ torrs (mm Hg)}$$

$$= 29.921 \text{ in. Hg} = 33.8985 \text{ ft. H}_2\text{O} = 1.0332 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 14.696 \text{ lb/in}^2$$

$$\text{atomic mass units (amu)} = 1.66 \times 10^{-24} \text{ g.}$$

$$= 1.49 \times 10^{-3} \text{ ergs}$$

$$= 931 \text{ mev (million electron volts)}$$

$$\text{barrels} = 5.6146 \text{ ft}^3 = 34.97 \text{ imperial gallons} = 42 \text{ U.S. gallons}$$

$$= 158.987 \text{ litres.}$$

$$\text{bar} = 1.01972 \text{ kg/cm}^2 = 0.101972 \text{ N/mm}^2$$

$$= 0.101972 \text{ M pa}$$

$$\text{British thermal units (Btu)}$$

$$= 778.3 \text{ ft. lb} = 1055.06 \text{ joules}$$

$$= 0.000293 \text{ kwh}$$

$$= 0.252 \text{ k cal.} = 1.416 \text{ HP.}$$

$$\text{bushels (imperial)} = 4 \text{ pecks} = 0.036 \text{ m}^3$$



bushels (U.S. dry measure ) =  $0.0352 \text{ m}^3$

cable lengths (U.S.) = 720 ft = 219.456 m

cable lengths (British) = 608 ft

calories = 4.187 joules

carats = 200 mg.

centares =  $1 \text{ m}^2$  = 10.76  $\text{ft}^2$ .

centilitres = 0.01 litres

centimeters = 0.3937 in = 0.0328083 ft = 0.01094 y.

= 10 mm

centimeters of Hg = 5.352391 in water =  $0.193368 \text{ lb/in}^2$

=  $27.84507 \text{ lb/ft}^2$  =  $135.951 \text{ kg/m}^2$

chains (Gunther) = 4 rods = 66 ft

chains (Engineers) = 100 ft

coulombs =  $3 \times 10^9$  = electro static units of charge (esu)

cubic centimeters = 0.00099973 litres =  $0.06102338 \text{ in}^3$

=  $0.00003532 \text{ ft}^3$

cubic feet =  $1728 \text{ in}^3$  = 7.480519 U.S. gallons

= 6.288 Imperial gallons =  $28317.017 \text{ cm}^3$

= 28.31625 litres.

cubic meters =  $35.314455 \text{ ft}^3$  = 264.17 U.S. gallons.

= 219.97 Imperial gallons = 6.2989 barrels

(bbl)

= 999.98 litres

decaliters = 10 l = 2.64 U.S. gallons =  $0.35 \text{ ft}^3$

decameters = 10 m = 32.81 ft.

decigrams = 0.1g = 1.543 grains

decilitres = 0.1 l

decimeters = 0.1 m = 3.94 in

degree arc = 0.01745329 radians

drams = 27.343 grains = 1.771 g

dynes =  $10^{-5}$  newtons =  $0.1019716 \times 10^{-5}$  kp

electron (ev.) =  $1.602 \times 10^{-19}$  joules

electrostatic units of potential 300 volts

ells = 1.725 y.

farads (coulombs/volt) =  $9 \times 10^{11}$  electrostatic units  
of capacitance

fathoms = 6 ft

feet = 30.48006 cm = 12 in = 0.3048 m = 0.3333 y.

fluidounces (U.S. liquid measure) =  $29.573 \text{ cm}^3$  = 8

fluidrams (U.S.).

fluidounces (Imperial) =  $28.416 \text{ cm}^3$  = 8 fluidrams (British)

fluidrams (U.S. liquid measure) = 60 minims (U.S.)

=  $3.696 \text{ cm}^3$

fluidrams (imperial) = 60 minims (British)

=  $3.5516 \text{ cm}^3$

foot-poundals = 0.04213 joules

foot-pounds (ft-lb) = 1.3554 joules 1watt-seconds

= 0.138255 m kg.

foot-pounds/second = 0.00136 K.W. = 0.00182 HP.

Furlongs = 10 chains = 660 ft.

gallons (U.S.) = 0.83268 Imperial gallons = 0.13368 ft<sup>3</sup>  
 = 3.785332 l = 4 quarts = 0.023809 barrels  
 = 4.546 l.

gills (U.S. liquid measure) = 4 fluidounces = 118.3 cm<sup>3</sup>

gills (Imperial) = 5 fluidounces = 142.1 cm<sup>3</sup>

grains = 0.0648 g

grams = 15.43236 grains = 0.035274 ounces

= 0.00224623 lb = 6.85 x 10<sup>-5</sup> slugs = 1000 mg

= 0.001 kg = 980.665 dynes

hands = 4 in

hectares = 2.471 acres

hectograms = 100 g. = 3.527 ounces

hectolitres = 100 l = 3.53 ft<sup>3</sup> = 2.84 bushels (dry)

hectometers = 100m = 109.36 y.

henry (rolt. sec/amp) = 10<sup>9</sup> electro magnetic units

horsepower = 0.7457 K.W. = 0.7068 Btu./sec. = 33000 ft.lb/min

= 550 ft. lb/sec. = 745.7 Watts = 0.1781K.Cal./Sec

= 1.013872 metric horsepower.

horsepower (metric) = 75 Kg.m/sec. = 735.496 watts.

horsepower hour = 2545.06 Btu.

hundred weight (short) = 100 lb = 45.36 kg.

hundred weight (long) = 112 lb = 50.802 kg.

inch = 2.54 cm = 1000 mils

inch of mercury = 0.033421 atm = 33.8639 millibars

= 13.5951 in water = 0.491157 lb/in<sup>2</sup>

= 0.03453 Kg/cm<sup>2</sup>

inch of water = 0.73556 in Hg = 0.1868324 Hg.

= 0.0361275 lb/in<sup>2</sup> = 0.00246 atm.

joule = 0.2388 cal. = 10<sup>7</sup> ergs = 0.7376 ft lb

kilocalory = 3.96707 Btu

kilogram = 2.204622 pounds(avoirdupois) = 2.679 pound (troy)

= 70.931 poundals = 1000 g

kilogram = meter = 7.233 ft. lb = 9.8066 x 10<sup>7</sup> ergs

= 9.8066 watts.

kilogram/cm<sup>2</sup> = 0.9678 atm = 28.958 in Hg = 14.2234 p.s.i.

kilolitre = 1000 l = 1.31 yards<sup>3</sup>

kilometer = 0.62137 miles = 0.53955 nautical miles

kilometer/h = 0.9113426 ft/s = 54.68 ft/min = 0.9113 ft/s

= 0.539 knots

kilowatt = 0.9478 Btu/s = 737.6 ft.lb/s = 1.341 HP.

kilowatt hour = 3415 Btu = 3.6 x 10<sup>6</sup> joules

knot = 1 nautical miles/h = 1.15155 miles / h = 1.852 km/h

league = 3 miles

light year = 9.4605 x 10<sup>5</sup> km.

link = 20.1168cm = 0.22 yards = 7.92 in

litre = 1000.027 cm<sup>3</sup> = 61.02503 in<sup>3</sup> = 0.0351 ft<sup>3</sup>

= 0.006289 barrels = 0.2199 Imp. gallons

= 0.2643 U.S. gallons = 0.908 quarts (dry measure)

= 1.057 quarts (liq. measure)

meter = 39.37 in = 3.28083ft = 1.093611 yards = 4.97 links

= 0.199 rods = 100 cm = 1000 mm.

meter/s = 2.237 miles/h = 3.6 Km/h = 196.85 ft/min

micron = 10<sup>-6</sup>m = 10000 Angstroms

mile (Statue) = 5280 ft = 1760 yards = 1.609347 km.

= 0.8683925 nautical miles

mile (nautical) = 1.852 km

mile/h = 1.4667 ft/s = 0.8683925 knots (nautical miles/h)

= 0.447 m/s = 88 ft/min

milliliter (ml) = 1 cm<sup>3</sup>

millimeter (mm) = 0.03937 in = 1000 micron = 0.001 m

mil = 0.001 in

minim (U.S. liquid measure) = 0.0616 cm<sup>3</sup>

minim (Imp.) = 0.0592 cm<sup>3</sup>

myriameter = 10.000 m = 6.2 miles

nail = 2.25 in

newton = 10<sup>5</sup> dynes

newton - meter = 10<sup>7</sup> ergs

ounce (avoirdupois) = 28.3495 grams = 437.5 grains

ounce (troy) = 31.103 g

parsec = 3.26 light years

peck = 2 imp. gallons

penny weight = 1.555 g

pint (U.S. liq. measure) = 0.473 l

pint (U.S. dry measure) = 0.55 l

pint (Imp.) = 0.5683 l

poundal = 0.13825 newtons

pound (avoirdupois) = 7000 grains

pounds/ft<sup>3</sup> = 0.1337 lb/U.S. gallon = 16.018 kg/m<sup>3</sup>

= 0.01602 g/cm<sup>3</sup>

pound per cubic inch (pci) =  $27.68 \text{ g/ m}^3 = 2.036 \text{ in Hg.}$   
 $= 2.309 \text{ ft of water at } 16^\circ\text{C.}$   
 $= 0.06805 \text{ atm.}$

pound troy = 240 penny weights = 5760 grains  
 $= 0.3732 \text{ kg}$

quart = 2 pints

quart (U.S. liq measure) = 0.946 l

quart (U.S. dry measure) = 1.101 l

quart (Imp.) = 1.36 l

quintal = 100 kg.

radian = 57.29578 degrees arc

radians/s = 0.159155 revolutions/s = 9.8493 revs/s.

revolution = 6.283185 radians

rod = 5.0292 meters = 5.5 yards

rood = 40 square rods

scruple = 1.295 g

slug = 31.175 pounds = 14.59 kg.

square centimeter =  $0.0001 \text{ m}^2 = 0.155 \text{ in}^2$

square foot =  $929 \text{ cm}^2 = 144 \text{ in}^2 = 0.0929 \text{ m}^2$   
 $= 0.111 \text{ yards}^2$

square inch =  $6.451626 \text{ cm}^2 = 0.0069 \text{ ft}^2$

square km =  $0./3861 \text{ miles}^2 = 10^6 \text{ m}^2 = 247.1 \text{ acres.}$

square link =  $62.726 \text{ in}^2$

square meter =  $10.76 \text{ ft}^2 = 1.195985 \text{ yards}^2 = 1550 \text{ in}^2$

square mile = 640 acres = 258.9 hectares

square yard =  $0.836 \text{ m}^2$

steres ( $\text{m}^3$ ) =  $1.31 \text{ yards}^3$







رقم الإصدار : ٨٧/٧٤٩١  
التقديم الدولي : ٦ - ١٤٣ - ١٤٨ - ٩٧٧

طبع : آسون  
العنوان : ٤ فيروز - متفرع من إسماعيل أباطة  
تليفون : ٣٥٤٤٣٥٦ - ٣٥٤٤٥١٧